



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
(CAMPO DE CONOCIMIENTO) – (CAMPO DISCIPLINARIO)

“Diseño conceptual de una planta eléctrica con generador de gradiente salino”

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MONSERRAT KARINA ORTIZ SALCEDO

TUTOR PRINCIPAL
MENDOZA BALDWIN EDGAR GERARDO
INSTITUTO DE INGENIERÍA

Ciudad de México, Febrero, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: (DR. SILVA CASARÍN RODOLFO)
Secretario: (DRA. ENRÍQUEZ ORTIZ CECILIA E.)
1 er. Vocal: (DR. MENDOZA BALDWIN EDGAR GERARDO)
2 do. Vocal: (DRA. ESCUDERO CASTILLO MIREILLE DEL C.)
3 er. Vocal: (DRA. FÉLIZ DELGADO ANGÉLICA)

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

TUTOR DE TESIS:

DR. EDGAR G MENDOZA BALDWIN

FIRMA

Con amor para papá

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a mi asesor, el Dr. Edgar Gerardo Mendoza Baldwin, por su valiosa dirección, enseñanzas, confianza y paciencia otorgadas para la realización de este proyecto, así como por sus admirables consejos de vida.

Gracias. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría, así como al CEMIE-O por permitirme continuar con mi investigación.

A los Dres. Rodolfo Silva, Cecilia Enríquez, Mireille Escudero y Angélica Félix, miembros del Comité Tutelar, por sus valiosos comentarios y observaciones.

Agradezco a mi familia & amigos por su gran apoyo siempre.

Resumen

El crecimiento de la población y con ello, el aumento de la demanda energética, ha ocasionado la sobreexplotación y el agotamiento de los combustibles fósiles. Por lo que la necesidad de aprovechar fuentes de energía limpia y renovable es ya una necesidad. Un importante grupo de fuentes de energía renovable fueron identificadas desde antes de la revolución industrial, pero su desarrollo se detuvo por la facilidad y confiabilidad de las energías basadas en hidrocarburos. Algunas fuentes de energía renovable han sido estudiadas y su estado de madurez tecnológica es avanzado en comparación con otras fuentes para las que las condiciones científicas y tecnológicas no estaban dadas y, por tanto, se encuentran en etapas muy incipientes de desarrollo. Uno de estos casos es la conversión de la energía liberada durante el encuentro de agua salada con agua dulce, la cual podría ser una gran alternativa debido a sus altos potenciales teóricos. Sin embargo, la tecnología asociada, está todavía sujeta a grandes retos de conocimiento y técnicos. Previo a la implementación de un primer esfuerzo en México, en esta tesis se planteará el diseño conceptual de la planta generadora de energía de gradiente salino mediante la técnica de electrodiálisis inversa (RED) con el fin de sentar las bases de las mejores prácticas para ser empleadas una vez que se emprenda un primer proyecto.

Índice

Lista de Figuras	7
Lista de Tablas	9
Simbología	11
1 Introducción	13
1.1 Antecedentes y justificación	15
1.2 Objetivo General	18
1.3 Conceptos básicos	18
1.4 Organización del trabajo	20
2 Marco teórico – Entorno físico	21
2.1 Recursos Hidráulicos en México	21
2.2 Zona Costera	22
2.2.1 Humedales	23
2.2.2 Sitios Ramsar	24
2.2.3 Laguna Costera	25
2.3 Manglares	26
2.3.1 Pantanos según el tipo de agua que los conforman	28
2.3.1.1 Pantanos de Agua Dulce	28
2.3.1.2 Pantanos de Agua Salada	29
2.3.2 Pantanos según el tipo de vegetación	29
2.3.2.1 Pantanos de arbustos	29
2.3.2.2 Pantanos Boscosos	29
2.3.3 Otros tipos de pantanos	29
2.3.3.1 Bogs o turberas	29
2.3.3.2 Fens	30
2.4 Acuíferos costeros	30
2.5 Estuarios	30
2.5.1 Deltas	31
2.5.2 Intrusión salina	32
2.5.3 Sistemas de clasificación	33

2.5.4	Mezcla de estuarios.....	33
3	Marco teórico - Generalidades sobre energías marinas	37
3.1	Desarrollo sostenible.....	37
3.2	Energías renovables	37
3.3	Las energías limpias	38
3.4	Energías del océano	38
3.4.1	Corrientes de marea.....	38
3.4.2	Corrientes oceánicas.....	39
3.4.3	Amplitud de mareas.....	39
3.4.4	Oleaje.....	39
3.4.5	Energía térmica oceánica.....	40
3.5	Gradiente salino	40
3.5.1	Presión Osmótica Retardada (PRO)	41
3.5.2	Mezcla Capacitiva (CapMix).....	41
3.5.3	Electrodialisis Inversa (RED).....	41
3.5.3.1	Membranas de intercambio iónico.....	43
3.5.3.2	Principios físicos de RED	44
3.5.4	Plantas de generación energía de Gradiente Salino	45
3.5.4.1	Planta de generación RED	45
3.5.4.2	Planta de generación PRO.....	46
3.5.5	Planta de tratamiento de aguas residuales.....	47
3.5.6	Desalinización	47
3.5.6.1	Sistemas térmicos	48
a)	Destilación multi-efecto (MED), un proceso de vapor a baja presión	48
b)	Compresión mecánica de vapor (MVC).....	48
3.5.6.2	Procesos a través de membranas.....	49
3.5.6.3	Congelación	50
3.5.7	Ordenamiento Ecológico Territorial	50
4	Diseño conceptual de una planta de SGE	52
4.1	Sitio de Estudio	52
4.2	Secciones e instalaciones de la planta	63

4.2.1	Pretratamiento	63
4.2.1.1	Monitoreo de la calidad del agua.....	63
4.2.2	Generación de energía	64
4.2.2.1	Diseño preliminar del núcleo de generación	64
4.2.3	Tratamiento de integración a la red	74
4.2.4	Áreas complementarias	74
4.2.4.1	Instalaciones y áreas de apoyo de la planta	74
a)	Cárcamo de bombeo	74
b)	Sedimentador primario	74
c)	Sedimentador secundario.....	75
d)	Filtro.....	75
4.2.4.2	Sistemas complementarios:	75
4.2.5	Manejo de residuos y efluentes	77
4.2.6	Manejo de riesgos	78
5	Conclusiones	80
5.1	Futuras líneas de trabajo.....	80
	Referencias	96

Lista de Figuras

Figura 1 Zona Costera en México (SEMARNAT MÈXICO , 2018)	23
Figura 2 Humedal en México (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018)	24
Figura 3 Sistema Lagunar de Alvarado Veracruz (Universidad Veracruzana , 2006) .	25
Figura 4 Manglares en México (Biodiversidad Mexicana, 2021)	26
Figura 5 Pantanos de Centla Tabasco (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2020)	28
Figura 6 Estuario ubicado en la Bahía de Petacalco. Estado de Guerrero (Arrechea, 2018)	31
Figura 7 Delta del río Colorado (Barcena, 2018).....	32
Figura 8. Sitio de la planta piloto RED en Afsluitdijk en Países Bajos.	46
Figura 9. Statkraft, Planta Piloto en Tofte, 2011	46
Figura 10 Planta de tratamiento en Toluca (GMD Intraestructura, s.f.)	47
Figura 11 Mapa de República mexicana (Conagua.Subdirección General de Programación. , 2011).	52
Figura 12. Zona potencial para el diseño conceptual de la planta de generación de energía de gradiente salino.	55
Figura 13 Puntos de muestra de Sistema Nacional de Información del agua.	56
Figura 14. Diseño conceptual de la pila RED.	67
Figura 15 Muestra de celda electroquímica.	72
Figura 16. Movimiento iónico dentro de las celdas.....	73
Figura 17. Diseño conceptual de la planta de generación de energía por la tecnología RED	77

Lista de Tablas

Tabla 1 Valores permitidos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (SEMARNAT, 2019)	57
Tabla 2 Valores permitidos para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (SEMARNAT, 2019).	58
Tabla 3 Valores permitidos para Solidos Suspendidos Totales (SST) (SEMARNAT, 2019).	59
Tabla 4. Valores de dos puntos de medición 1 y 2 del Sistema Nacional de Aguas (Conagua, 2021).....	60
Tabla 5. Valores de dos puntos de medición 3 y 4 del Sistema Nacional de Aguas (Conagua, 2021).....	61
Tabla 6. Valores de dos puntos 5 y 6 de medición del Sistema Nacional de Aguas (Conagua, 2021).....	62
Tabla 7 <i>Lista de membranas disponibles en el mercado</i> (Fumatech, s.f.; Corporation, s.f.; AGC, s.f.; Excellion™ Membranes, 2014; Doornbusch, et al., 2021)	64
Tabla 8. Sistema de electrodiálisis usado en la literatura por Veerman. (Veerman, 2010)	65
Tabla 9. Resultados de coeficientes para soluciones concentradas.	68
Tabla 10. Resultados de coeficientes para soluciones diluidas.....	68
Tabla 11. Muestra los valores obtenidos para los iones en las soluciones concentradas y diluidas.	69
Tabla 12. Valores de constantes para el cálculo de VOC	69
Tabla 13. Valores de constantes y propuestos para el cálculo de Ri.	70
Tabla 14. Constantes para obtención de ΔV theo	71
Tabla 15. Valores obtenidos para P total.....	71
Tabla 13. Suma de potencial en las tres pilas propuestas.	71

Simbología

A	Constante que depende de la temperatura
a	Constante que depende de cada ion
ac	Actividad de Solución concentrada
ad	Actividad de Solución diluida
AEM	Membrana de intercambio aniónico
A_m	Área de membrana
AMV	Membrana de intercambio aniónico Selemion
AMX	Membrana de intercambio aniónico Neosepta
B	Constante que depende de la temperatura.
b	Constante que depende de cada ion.
C	Concentración
CEM	Membrana de intercambio catiónico
CMV	Membrana de intercambio catiónico Selemion
CMX	Membrana de intercambio catiónico Neosepta
CO ₂	Dióxido de Carbono
CSM	Membrana de intercambio catiónico monovalente Neosepta
Cl ⁻	Ion cloro
D	Profundidad
F	Constante de Faraday
FAD	Membrana de intercambio aniónico Fumasep
FAK	Membrana de intercambio catiónico Fumasep
H	Profundidad total del agua
H, PP-b	Heterogénea, basado en PP Ácido fuerte
H PP-b tipo1	Heterogénea, basado en PP Base fuerte, Tipo 1
h	Altura
h_c	Distancia entre membranas disolución concentrada
h_d	Distancia entre membranas disolución diluida
IEMs	Membranas de Intercambio Iónico
I	Fuerza iónica de la disolución
Ir	Iridio
K	Kelvin
K_c	Conductividad disolución concentrada
K_d	Conductividad disolución diluida
L	Litros
M	Molaridad
W	Watt
V	Volt
m	Metro
N	Número de membranas
NOX	Grupo de gases reactivos
Na ⁺	Ion sodio

P_{total}	Presión total
P_{neta}	Presión neta del sistema
PRO	Ósmosis retardada por presión
Q	Cociente de reacción
QV	Caudal
R	Constante de gases
R_i	Resistencia
R_{DBL}	Resistencias a electrodos
R_{cell}	Resistencias de las celdas
RED	Electrodialisis Inversa
R_u	Rutenio
SGE	Energía del Gradiente Salino
SGP	Potencial del Gradiente salino
T	Temperatura
t	Tiempo
VOC	Circuito de Voltaje Abierto
Z	Factor de compresibilidad
Z_i	Carga eléctrica del ion.
α_{av}	Perm-selectividad media de la membrana
γ_c	Coefficiente de actividad concentrado
Γ_d	Coefficiente de actividad diluido
Δp	Caída de presión
Δv_{teo}	Potencial Teórico de membrana

1 Introducción

El aumento exponencial de la población, la sobreexplotación y el agotamiento de los combustibles fósiles son situaciones globales que ponen de manifiesto la urgente necesidad del aprovechamiento de fuentes de energía limpias (Zhao, et al., 2012). La mayor parte del territorio mexicano es abastecida con energía proveniente de combustibles fósiles, lo cual significa un alto costo ambiental y, en la medida que estas fuentes se agoten, un importante riesgo de deficiencias en el suministro. En contraste, las energías renovables son de libre disposición, se distribuyen en amplias zonas, suelen encontrarse cerca de zonas de demanda y su aprovechamiento tiene impactos ambientalmente sostenibles.

En la actualidad, las fuentes de energía renovables incluyen el uso de la energía solar, geotérmica, hidráulica, eólica, de biomasa y marina. De esta última se puede aprovechar la energía en forma de:

- Energía de gradiente térmico oceánico (OTEC, por sus siglas en inglés), proviene de la característica de las masas de agua de tener muy distintas temperaturas en la superficie y en el fondo;
- Energía de las mareas que proviene de las fuerzas de atracción gravitacional entre la Tierra, el Sol, la Luna y otros astros, que generan ondas muy largas que viajan por el planeta y se conocen como mareas (energía mareomotriz), de éstas se puede tomar su energía cinética en forma de corrientes y la potencial en forma de columna de agua.
- Energía de corrientes oceánicas asociadas que son los movimientos horizontales de las aguas oceánicas y grandes mares. El movimiento representado por las corrientes, es impulsado por factores como: el viento, las variaciones de densidad del agua y rotación de la tierra.
- Energía cinética del viento en aguas profundas (energía eólica de mar adentro);

- Energía potencial o cinética que acompaña al flujo oscilatorio superficial producido por el viento y la atracción gravitatoria terrestre conocida como oleaje (energía undimotriz), y finalmente
- Energía química disponible a partir de las diferencias de salinidad entre el agua dulce y marina (energía del gradiente salino) (Edenhofer, et al., 2013; Yan Wang, 2021).

Para la década de los 50's se conocía la posibilidad de extraer energía limpia y renovable del flujo entre agua dulce y agua salada, también nombrada energía azul, energía de gradiente salino (SGE, por sus siglas en inglés) o potencial del gradiente salino (SGP, por sus siglas en inglés). Los gradientes salinos existen naturalmente entre el agua de mar y el agua de río, la energía que se libera al encontrarse, podría constituirse en una gran fuente de energía limpia (Zhu, et al., 2014). El principio básico para la obtención de energía del gradiente salino es el incremento irreversible de entropía en un sistema, al mezclarse dos soluciones con distinta concentración salina. Este cambio en la entropía puede utilizarse para convertir parte de la energía química de los fluidos en energía eléctrica. Aproximadamente, por cada metro cúbico de agua de río que ingresa al mar, se liberan 2.3 MJ, parte de la cual se puede coleccionar con diferentes técnicas (Skilhagen & Aaberg, 2008).

Diversos esfuerzos se han enfocado en estimar la energía que puede extraerse del gradiente salino. La posible producción de energía, a nivel mundial, a partir de gradiente salino está estimada en más de 1600 TWh (Skråmestø, et al., 2009). Los primeros estudios en los años setentas del siglo pasado, de cuantificación del potencial teórico de SGE en bocas de ríos fue estimando entre 1.4 y 2.6 TW (Álvarez-Silva & Osorio, 2015). Estudios más recientes han cuantificado un potencial teórico de 0.23 TW, 3.13 TW y 1.724 TW (15,102 TWh, equivalente al 74 % del consumo mundial de electricidad en 2011), donde sólo la última evaluación consideró la salinidad del océano cerca del río (Álvarez-Silva, et al., 2016).

Actualmente, la obtención de energía a partir de gradientes de salinidad se realiza principalmente con dos técnicas: ósmosis retardada por presión (PRO, por sus siglas en inglés) y electrodiálisis inversa (RED, por sus siglas en inglés). Ambas tecnologías

son muy promisorias, pero se ha demostrado que RED es más eficiente que PRO para los gradientes de salinidad conocidos entre agua dulce y agua de mar; mientras que PRO es una tecnología más atractiva para aplicar en aguas con mayores gradientes de concentración de sales (Post, et al., 2007).

La compañía noruega de energías renovables Statkraft tuvo la primera planta a escala industrial de generación de energía utilizando la técnica PRO. El prototipo se evaluó, se optimizó el proceso para maximizar la cantidad de energía que se obtiene del gradiente salino a través de mejoras continuas en la tecnología de membranas (Skilhagen & Aaberg, 2008). Esta planta tuvo que cerrar tres años después de su inauguración.

1.1 Antecedentes y justificación

La generación mundial de electricidad, que había aumentado en casi un 3% anual durante el periodo comprendido entre 2000 y 2018, disminuyó de manera significativa en 2019 (+1%). Hablando de la demanda mundial de energía, ésta se redujo un 3.8% en el primer trimestre de 2020, la mayor parte del impacto ocurrió en marzo gracias a las medidas de confinamiento aplicadas en el mundo (RIC ENERGY, 2020).

La demanda mundial de combustibles fósiles se vio afectada por la pandemia, los precios disminuyeron y el crecimiento del uso de energía renovable desafió su uso. El escenario de la transición energética acompañado de una descarbonización ofrece una base sostenible, con bajas emisiones de carbono y segura para el clima con vistas a un desarrollo económico estable a largo plazo. Esta industria promete más empleos, un mayor crecimiento económico, condiciones de vida más limpias y una mejora sustancial del bienestar. Esta ambiciosa perspectiva también reduciría el 70% de las emisiones mundiales de dióxido de carbono (CO²) relacionadas con la energía de aquí a 2050. Más del 90% de la reducción se obtendría a través de las energías renovables y de medidas de eficiencia energética (IRENA, 2020).

La transición energética puede impulsar un amplio desarrollo socioeconómico, guiado por políticas integrales que fomenten la descarbonización transformadora de las sociedades.

El país cuenta con cuantiosos sitios en los que, de manera natural, cuerpos de agua dulce y salada se encuentran e interactúan. Es por ello que la SGE se vislumbra como una posibilidad viable para la industria eléctrica nacional.

Es importante la necesidad de investigar y hacer más eficientes las tecnologías para satisfacer las necesidades energéticas de la población. Este trabajo se realizó con el fin de evaluar el diseño conceptual de una planta de gradiente salino y como ésta puede satisfacer las necesidades de ciertos segmentos de la población.

El balance entre la oferta y demanda de combustibles fósiles se modificó de manera importante durante los periodos de confinamiento mundial que ocurrieron en 2020-2021, como consecuencia, la producción será afectada y no se prevé una recuperación en el corto plazo. Esto evidenció la necesidad de contar con una diversidad más amplia de fuentes de energía que permitan contar con un mercado más flexible y versátil. En particular, el uso creciente de energías renovables y sus diferentes tecnologías son necesarias para equilibrar el sistema energético y asegurar la disponibilidad de energía. Estos cambios en la combinación de energía mundial conducirán a que las emisiones de carbono provenientes del uso de energía disminuyan en más del 95% para el año 2050.

La energía marina puede convertirse en una alternativa para equilibrar el sistema energético. Extraer energías marinas es todavía costoso y difícil por lo que se debe investigar y desarrollar tecnologías para mejorar los sistemas, hacerlos más eficientes y competitivos.

De manera específica, esta tesis está enfocada en la energía asociada al encuentro de masas de agua con diferente salinidad como los ríos que desembocan en el mar.

De entre las técnicas empleadas para captar esta energía, la técnica RED es una de las más estudiadas en años recientes. Se ha demostrado que puede ser adecuada para

diferentes aplicaciones como recuperación de calor residual utilizando soluciones de bicarbonato de amonio, tratamiento de aguas residuales cuando se combina con procesos biológicos, agua electrólisis del agua para la producción de hidrógeno y extracción de energía con electrodos REDOX o capacitivos.

En un estudio reciente a las plantas de tratamiento de aguas residuales en las costas se dieron cuenta que tienen una alta demanda energética y que descargan agua salobre al ambiente lo cual lo contamina. Al hacer este estudio se dieron cuenta que las plantas de aguas residuales junto al mar son una gran oportunidad para aprovechar la energía de gradiente salino (Ye, et al., 2019).

La privilegiada ubicación geográfica de México posiciona al país de manera estratégica en el contexto mundial, entre los dos océanos más grandes del planeta. La superficie de la zona económica exclusiva (2,715,012 km²) del país, incluida la del mar territorial (231,813 km²), es más extensa que la superficie continental de México (1,959,248 km²), y constituye un espacio del territorio nacional que debe ser administrado de manera sustentable, para beneficio de la nación.

La longitud de costa del país, sin contar la correspondiente a las islas, es de 11,122 km. En el litoral del Pacífico y Golfo de California se tienen 7,828 km y 3,294 km en el Golfo de México y Mar Caribe.

En el territorio mexicano los ríos se encuentran en tres vertientes: Occidental o del Pacífico, Oriental o del Atlántico (Golfo de México y Mar Caribe) e Interior, en la que los ríos no tienen salida al mar, entre la vertiente Occidental o del Pacífico y Oriental o del Atlántico destacan aproximadamente 146 ríos por ejemplo el Rio Bravo que cuenta con 2,001 km y descarga en el Golfo de México y el Rio Balsas que tiene una longitud de 771 km, en este río se encuentran importantes plantas generadoras de electricidad como la central de Infiernillo.

También existen lagunas costeras que descargan en el mar, ellas son buenos sitios de investigación para la energía de gradiente salino ya que son cuerpos someros y potencialmente hipersalinos. En México existen 125 lagunas costeras, la gran mayoría

de las cuales están circundadas por una espesa vegetación de manglar, la cual, por defoliación, aporta gran cantidad de materia orgánica al sistema.

La ley de Transición Energética (LTE), tiene como objeto regular el aprovechamiento sostenible de la energía, el cumplimiento en materia de energías limpias y reducción de emisiones de contaminantes en la industria eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos, previendo el incremento gradual de la participación de energías limpias y obligaciones en materia de aprovechamiento sostenible y eficiencia energética.

Con el incremento de la participación de fuentes renovables, México se beneficiaría con disminución de las tarifas de luz, generación de empleos directos para desarrolladores, fabricantes de equipo, diseñadores, instaladores y financieros, así como la generación de empleos indirectos en agricultura, al expandir los sistemas de riego; en ganadería y en avicultura, con la instalación de establos electrificados; en el comercio y los servicios, así como mejorar la calidad del agua en los ríos y mares y la recuperación de la industria pesquera y promover la competitividad de los sectores productivos.

El manejo integral de la zona costera, puede ofrecer una excelente alternativa para enfrentar las expectativas del desarrollo sostenible de la costa del país.

1.2 Objetivo General

Estudiar detalladamente las partes que deben componer una planta eléctrica por gradiente salino con el fin de identificar sus elementos clave, las instalaciones críticas necesarias, los potenciales impactos acumulativos y, como resultado final, evaluar la factibilidad de una planta de esta tecnología.

1.3 Conceptos básicos

AGUA RENOVABLE (AR): Se le denomina agua renovable a la cantidad máxima de agua que es factible explotar anualmente en un país sin alterar el ecosistema y que se renueva por medio de la lluvia.

AGUA RESIDUAL: Son aguas de composición variable provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales de servicios, agrícolas pecuarios.

Domésticos, incluyendo fraccionamientos en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

CIMARES: Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas.

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONAGUA: Comisión Nacional del agua.

CONAPO: Consejo Nacional de la Población

CEM: Continuo de Elevaciones Mexicano

CRE: Comisión Reguladora de Energía.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

PIB: Producto Interno Bruto

RESIDUO: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

RESIDUOS PELIGROSOS: Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente

SEGOB: Secretaría de Gobernación.

SEMARNAT: secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

SENER: secretaria de Energía.

SOLUCIÓN: Es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias puras que no reaccionan entre si.

SOSTENIBILIDAD: Reúne tres aristas independientes: economía, medio ambiente y sociedad, relación que se traduce en desarrollo económico y social respetuoso con el ambiente, es decir, desarrollo soportable en lo ecológico, viable en lo económico, y equitativo en lo social.

SUSTENTABILIDAD: Proviene de sustentar y se aplica en la argumentación para explicar razones o defender.

ZOFEMAT: Zona Federal Marítimo Terrestre

1.4 Organización del trabajo

Introducción: Se describe la situación mundial que hace evidente la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías de energías renovable.

Marco teórico – Entorno físico: En este capítulo se describen los fenómenos físicos en los cuales se puede implementar la tecnología RED. La comprensión del capítulo facilitará entender la ubicación de la planta.

Marco teórico - Generalidades sobre energías marinas: En este capítulo se describen los fenómenos físicos-químicos, conceptos físicos en la implantación de la tecnología RED para la conversión de energía por salinidad. La comprensión de dichos fenómenos facilita el diseño conceptual de una planta de SGE y las conclusiones del trabajo.

Diseño conceptual de una planta SGE: En este apartado se podrá observar el diseño conceptual de una planta de generación de energía por medio de gradiente salino, así como el núcleo en dicho diseño. El manejo de los residuos y efluentes.

Conclusiones: Se presenta un análisis de los resultados obtenidos en el trabajo en donde se realizó el diseño conceptual de la una planta RED. También se descubre, las futuras líneas de investigación y se deja abierta esta tesis.

2 Marco teórico – Entorno físico

En este capítulo se presentan una serie de conceptos relacionadas con el medio en el que se disponen las plantas de SGE.

2.1 Recursos Hidráulicos en México

La extensión territorial de México comprende 1,959,248 km², que con 5,127 km² de superficie insular, conforma la superficie total de nuestro país: 1,964,375 km². En términos de la línea de costa, nuestro país cuenta con 7,828 km de costa en el océano Pacífico y 3,24 km en el Golfo de México y mar Caribe, para un total de 11,122 km.

En México existe una gran variedad de climas. La zona noroeste y centro del país, que cubre dos terceras partes del territorio, se considera árida o semiárida, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm. En contraste, el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan en ocasiones los 2000 mm por año (CONAGUA, SEMARNAT, 2018).

La población, el agua renovable (AR) y el producto interno bruto (PIB) presentan variaciones a nivel regional. Se agrupan en dos grandes regiones: la región norte abarca las zonas del centro norte y noroeste, concentra un 77% de la población, genera el 83% del PIB, pero cuenta con tan sólo el 33% de agua en el país, mientras que la región Sur abarca las zonas sur y sureste, mantiene al 23% de la población, una generación del 17% del PIB y dispone del 67% de agua (CONAGUA, 2018).

Cada año, el país recibe aproximadamente 1,449,471 millones de m³ de agua en forma de precipitación. Se estima que el 72.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.4% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.4% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta los flujos de salida (exportaciones) y de entrada (importaciones) de agua con los países vecinos, el país anualmente cuenta con 451,585 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable (CONAGUA, 2018).

Las zonas Marinas Mexicanas son:

- a. El Mar Territorial
- b. Las Aguas Marinas Interiores
- c. La Zona Contigua
- d. La Zona Económica Exclusiva
- e. La Plataforma Continental y las Plataformas Insulares
- f. Cualquier otra permitida por el derecho internacional

2.2 Zona Costera

Se entiende por zona costera a un espacio de transición entre los dominios marinos y continentales, una zona de interfase donde la tierra, el mar y la atmosfera interactúan. Continuamente influenciada por procesos físicos, es una zona dinámica, donde el mar incide sobre la tierra y viceversa.

La zona costera es una amplia región, sin límites bien establecidos, en la que se presentan fenómenos físico-químicos, geológicos, atmosférico, biológicos y socioculturales que ponen de manifiesto la intrincada relación que existe entre la parte de la tierra y mar. En México, la costa comprende una porción definida por 265 municipios costeros; 150 con frente de playa y 113 municipios adyacentes a estos con influencia costera alta y media, una porción de mar definida a partir de la plataforma continental delimitada por la isobata de los 200 m y una porción insular representada por las islas nacionales (SEMARNAT, 2006).

Los ecosistemas costeros incluyen playas, tierras húmedas, estuarios, lagunas costeras, arrecifes de coral, manglares y dunas. Las principales instalaciones artificiales incluyen puertos, pesquerías y operaciones de acuicultura comerciales, industrias, establecimientos recreativos y turísticos, sitios arqueológicos y áreas urbanas (Silva & Mendoza, 2017).

Los mares y costas de México Figura 1 son una parte fundamental del territorio nacional para la seguridad, soberanía y el desarrollo sostenible del país (SEMARNAT, 2006). Tienen una notable importancia humana como asentamiento poblacional y de turismo, de producción terrestre, marina y litoral de alimentos, de ocupación industrial, de posible generación energética y de transporte terrestre y marítimo.



Figura 1 Zona Costera en México (SEMARNAT MÉXICO , 2018)

2.2.1 Humedales

Los humedales como se puede observar en la Figura 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** son zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres, constituyen áreas de inundación temporal o permanente con vegetación hidrófila característica, o suelos permanentemente húmedos por la descarga de acuíferos. La conservación y manejo sostenible pueden asegurar la riqueza ambiental y los servicios ambientales que estos prestan, tales como almacenamiento de agua, conservación de acuíferos, purificación de agua de manera natural a través de la retención de sedimentos, nutrientes y contaminantes, protección contra inundación, control de erosión entre otros (CONAGUA, 2018).



Figura 2 Humedal en México (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018)

2.2.2 Sitios Ramsar

Los humedales de importancia internacional, son áreas que han sido reconocidas internacionalmente al asignarle una designación de acuerdo a los criterios establecidos por la “Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas”, es un tratado internacional en donde se definen a estas zonas húmedas como “extensiones de marismas, pantanos o turberas cubiertas de agua”, sean naturales o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”

Dentro de esta convención, entrarían todo tipo de cuerpos de ríos y pantanos, hasta acuíferos subterráneos, pastizales húmedos, turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, manglares y otras zonas costeras, arrecifes coralinos, y sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, embalses y salinas.

Los sitios Ramsar son muy importantes ya que son espacios donde se concentra mucha biodiversidad, asumen una importante cantidad de funciones ecológicas y proveen de servicios ecosistémicos primordiales para el ser humano (Gutiérrez & Suaste, 2018).

Además de que es el primero de los tratados modernos de carácter intergubernamental sobre conservación y usos sostenible de los recursos naturales, que está dedicado a un ecosistema, con disposiciones relativamente sencillas y generales (SEMARNAT, 2015).

2.2.3 Laguna Costera

Las lagunas costeras son consideradas depresiones someras (<10 m), con su eje principal paralelo a la costa, conectada por uno o más canales y separada por una barrera física (Kjerfve, 1994).

México cuenta con una superficie aproximada de 1,567,000 ha de cuerpos acuáticos estuarinos que se distribuyen en 130 lagunas costeras (Cervantes, s.f.) . En la Figura 3 observamos un ejemplo de una Laguna costera en el estado de Veracruz.

Los sistemas lagunares presentan vínculos con los ambientes terrestre y marino generando interacciones ecológicas que condicionan sus funciones, las mismas que varían por distintos factores, como zona geográfica, el régimen de lluvias, las características de mares adyacentes, la geomorfología, el gradiente latitudinal etcétera.



Figura 3 Sistema Lagunar de Alvarado Veracruz (Universidad Veracruzana , 2006)

2.3 Manglares

Son comunidades Figura 4 de ciertas especies de plantas leñosas que habitan en zonas tropicales y subtropicales del mundo a lo largo de los bordes de lagunas costeras, estuarios, desembocaduras de ríos y bahías, así como en algunas islas. Se establecen en la interfase del agua marina y las descargas de aguas continentales, característica que les permite albergar una gran biodiversidad. El tamaño, forma, disposición, riqueza y abundancia de las especies presentes depende de las características abióticas (salinidad, viento, la exposición al oleaje, la temperatura, los períodos de inundación, latitud entre otras.)

Los manglares son barreras naturales de protección que retienen la erosión causada por vientos y mareas, ayudando a mantener la línea de costa y a sostener la arena en las playas.



Figura 4 Manglares en México (Biodiversidad Mexicana, 2021)

Los pantanos Figura 5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se conforman por áreas de tierra firme que se encuentran normalmente saturadas de agua y cubiertas por vegetación de tipo hidrófila que puede llegar a ser muy densa; se caracterizan por la formación de turba, cuya capa es superior a los 30 cm, siendo constituidos generalmente por un contenido de agua entre el 90 y el 95% y un 5 a 10% de sustancia seca (turba).

Generalmente se encuentran localizados en zonas bajas cercanas a ríos o lagos que permitan surtir de agua a estos cuerpos. Normalmente se ubican en zonas de climas húmedos.

Algunos pantanos se encuentran permanentemente cubiertos por agua. Otros pueden presentar estancamiento del recurso en ciertas épocas del año y en otras, el suelo puede permanecer saturado con el líquido o ligeramente encharcado. Desde esta perspectiva se puede determinar que los pantanos no son hábitats enteramente acuáticos ni completamente terrestres.

Los pantanos que están asociados a los ríos dependen principalmente de las variaciones del nivel de las aguas de estos, la vegetación presente en la zona ayuda a identificar el tipo de pantano.

Algunas características son:

- Zonas que se encuentran cubiertas por bosques.
- Generalmente presentan saturación de agua estancada.
- La profundidad de las aguas que los conforman es entre 1 y 3 m.
- Sus aguas pueden ser de tres tipos: dulces, salobres o saladas.

Los pantanos se pueden clasificar en tres grandes grupos según el tipo de agua, vegetación presente en la zona donde se genera el pantano y otros tipos de pantano.



Figura 5 Pantanos de Centla Tabasco (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2020)

2.3.1 Pantanos según el tipo de agua que los conforman

2.3.1.1 Pantanos de Agua Dulce

Se encuentran localizados sobre terrenos continentales y están asociados con cuerpos de agua dulce lenticos como los lagos y arroyos, en donde crece vegetación muy densa altamente tolerable al agua, la cual se va remplazando de manera gradual por matorrales, gramíneas y árboles de mayor tamaño que tienen enterradas su raíz en el fondo del pantano. Las especies animales se adaptan a las fluctuaciones del nivel del agua a lo largo del año.

2.3.1.2 Pantanos de Agua Salada

Se encuentran localizados en zonas aledañas a las desembocaduras de los ríos al mar, generados por la presencia de la dinámica de los litorales, la capa de materiales impenetrables es proporcionada por los ríos, arenas aportadas por la abrasión marina y el viento. Las zonas en las partes más altas de las mareas son lugares óptimos para la sedimentación de pantanos. Se crea una barrera natural que encierra un área determinada y presenta una pendiente contraria al mar que posteriormente se rellena en gran parte con agua procedente de ríos. El terreno pantanoso se sitúa por debajo del nivel de la mar influenciada solo por mareas, el agua que predomina es una mezcla de agua dulce y agua de mar.

2.3.2 Pantanos según el tipo de vegetación

2.3.2.1 Pantanos de arbustos

La vegetación predominante son los arbustos y se encuentran localizados en llanuras de inundación o a lo largo de corrientes de movimiento léntico. Este tipo de pantanos pueden quedar cubiertos completamente de agua hasta unos cuantos centímetros de altura o mostrar suelos saturados durante gran parte del año.

2.3.2.2 Pantanos Boscosos

Estos pantanos también son conocidos como Ciénegas boscosas o pantanos de ciprés los cuales se encuentran cubiertos principalmente por aguas estancadas o por aguas de inundaciones provenientes de ríos y arroyos cercanos al cuerpo de agua. El tipo de vegetación predominante son árboles como arce rojo, robles y cipreses.

2.3.3 Otros tipos de pantanos

2.3.3.1 Bogs o turberas

Se caracterizan por ser depósitos esponjosos en forma de domo conformado por turba, aguas ácidas y un suelo cubierto por una gruesa alfombra de musgo. La mayor parte del agua que los cubre proviene de la precipitación de aguas meteóricas y no de la

escorrentía de aguas subterráneas o arroyos. Estas aguas por lo anterior cuentan con muy pocos nutrientes para el crecimiento de flora.

2.3.3.2 Fens

Los Fens se alimentan tanto de aguas meteóricas como de aguas superficiales y aguas subterráneas, se caracterizan por contar con un pH neutro o alcalino y bajas concentraciones de nutrientes vegetales generando que la distribución de flora se relacione estrechamente con los regímenes hídricos

2.4 Acuíferos costeros

Un acuífero costero es una formación geológica capaz de almacenar agua y transmitirla, es decir que puede moverse a través del mismo, pero está conectado hidráulicamente con el mar, y en una mayoría de casos alguno de sus límites puede estar a su vez relacionado hidráulicamente con otros acuíferos del interior (Pulido & Rodríguez, 2007).

2.5 Estuarios

Los estuarios Figura 6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** son cuerpos de agua semicerrados, con interacción libre con el océano, donde el agua salada del océano es diluida por agua dulce proveniente de tierra.

Los estuarios se caracterizan por la alternancia y la mezcla, tanto de las aguas continentales dulces y las aguas marinas saladas, como de sus cargas: invasión del agua marina en marea alta (pleamar), a veces espectacular (macareo), y salida del agua fluvial en marea baja (bajamar).



Figura 6 Estuario ubicado en la Bahía de Petacalco. Estado de Guerrero (Arrechea, 2018)

2.5.1 Deltas

Los deltas se forman cuando la acumulación de los sedimentos aportados por el río supera la erosión, atravesada por un río ramificado en brazos, frecuentemente salpicado por lagos y lagunas.

La ausencia o debilidad de las mareas son condiciones favorables para la formación de los deltas, son formas que tienen una gran dinámica, porque cada brazo fluvial se levanta por la deposición de aluviones, construye elevaciones en cada orilla y llega a dominar sus alrededores; una crecida causa una brecha en el dique natural y crea una nueva corriente.

La estructura de los deltas se caracteriza por vallas formados por elevaciones de brazos actuales o de antiguos brazos abandonados y por umbrales transversales a las líneas de las elevaciones y que son antiguas posiciones del cordón litoral en diversos grados de progresión esto se puede observar en la Figura 7.



Figura 7 Delta del río Colorado (Barcena, 2018)

2.5.2 Intrusión salina

La intrusión salina en un estuario se rige por la amplitud de mareas, flujo de río y batimetría. Es alterada también por dragados, construcciones de protección y reguladoras de flujo, junto con modificaciones debido al cambio climático. Teniendo afectaciones a la calidad del agua, dispersión de contaminantes y transporte de sedimentos.

Las consideraciones hidrogeoquímicas de las relaciones agua dulce–agua salada tienen gran importancia para caracterizar la intrusión marina y su evolución y para tratar de identificar el origen de la salinidad cuando esta es distinta de la producida por la mezcla del agua dulce con el agua marina (Custodio, 2017) .

La dispersión de sal involucra interacciones en variaciones 3D en fase, amplitud, valores medios de ambas corrientes y distribución salina. Las variaciones son sensibles

a los niveles de estratificación las cuales pueden variar tanto en sentido axial como transversal.

2.5.3 *Sistemas de clasificación*

Existe un esquema de clasificación para la mezcla de estuarios

- Los tipos A son estuarios altamente estratificados
- Los tipos B son estuarios parcialmente mezclados, en donde la dispersión vertical es la importante
- Los tipos C y D son estuarios completamente mezclados $\frac{\delta c}{\delta z} \sim 0$ en los que solo está involucrada la dispersión longitudinal

2.5.4 *Mezcla de estuarios*

El número de Richardson ecuación (1) cuantifica la relación entre las fuerzas de flotabilidad y la de turbulencia en dirección vertical determina la naturaleza de la mezcla de los estuarios. Esto ocurre cuando $R_i < 0.25$, lo cual indica que la turbulencia es suficiente para superar las capas de densidad.

Linden y Simpson (1988) enfatizan que la estratificación varia a lo largo del estuario

$$R_i = \frac{\frac{g}{\rho} \frac{\delta \rho}{\delta Z}}{\left(\frac{\delta U}{\delta Z}\right)^2} \quad (1)$$

Se puede obtener una descripción del flujo en el estuario mediante los perfiles de corriente asociados con el flujo del río, el gradiente de densidad longitudinal de mezclado, así como una intrusión tipo cuña con diferencia de densidad y sin mezcla vertical y la tensión del viento sobre la superficie. Esto parte de varios supuestos básicos como que el coeficiente de tensión del lecho es $f=0.0025$, el coeficiente de viscosidad E es constante. En la ecuación (2) U^* es la amplitud de marea de la corriente media

(2)

$$E = fU * H$$

Sin tomar en cuenta los términos convectivos, la ecuación de movimiento axial en un punto es la ecuación (3), donde ζ es la superficie de separación y $\frac{\delta\zeta}{\delta X}$ es el gradiente de densidad en cual se asume como constante.

$$\frac{\delta U}{\delta t} + g \frac{\delta\zeta}{\delta X} + g(\zeta - Z) \frac{1}{\rho} \frac{\delta\rho}{\delta X} = \frac{\delta}{\delta Z} E \frac{\delta U}{\delta Z} \quad (3)$$

La ecuación (3) se reduce a la ecuación (4) donde se omite el gradiente de densidad para el flujo axial, donde i_Q es el gradiente de elevación residual asociado con Q.

$$g \frac{\delta\zeta}{\delta X} = g i_Q = E \frac{\delta^2 U}{\delta Z^2} \quad (4)$$

Al integrar la ecuación (4), la ecuación (5) muestra el perfil actual en Z

$$U_Q = g \frac{i_Q}{E} \left(\frac{Z^2}{2} - HZ - \frac{EH}{\beta} \right) \quad (5)$$

En donde se determinaron las constantes de integración a partir de dos condiciones límite:

Tensión en la superficie $\tau_{Z=H} = \rho E \frac{\delta U}{\delta Z} = 0 \quad (6)$

Tensión en el lecho $\tau_{Z=0} = \rho E \frac{\delta U}{\delta Z} = \rho \beta U_{Z=0} \quad (7)$

La condición límite de tensión en el lecho aplica cuando $U^* \gg U_Q$ en donde

$\beta = \left(\frac{4}{\pi}\right) f U^*$, al introducir la velocidad promediada $\bar{U}_Q = \frac{Q}{H} = \frac{1}{H} \int_0^H U dZ$ obtenemos las ecuaciones (8) y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$i_Q = \frac{\bar{U}_Q}{g \left(\frac{H^2}{3E} + \frac{H}{\beta} \right)} \quad (8)$$

$$U_Q = \bar{U}_Q \frac{\left\{ -\frac{z^2}{2} + z + \frac{E}{\beta H} \right\}}{\frac{1}{3} + \frac{E}{\beta H}} \quad (9)$$

Al sustituir la ecuación (3) en las ecuaciones (8) y (9), se reduce a las siguientes ecuaciones: con la condición $z = \frac{z}{H}$,

$$i_Q = -0.89 \frac{f \bar{U} U^*}{gH} \quad (10)$$

$$U_Q = 0.89 \bar{U}_Q \left(\frac{-z^2}{2} + z + \frac{\pi}{4} \right) \quad (11)$$

Omitiendo el término de inercia antes de agregar el gradiente de densidad en la ecuación (3) obtenemos (12).

$$U = g \frac{\delta \zeta}{\delta X} \frac{H^2}{E} \left(\frac{z^2}{2} - z - \frac{E}{H\beta} \right) + \frac{g \delta \rho}{\rho \delta X} \frac{H^3}{E} \left(-\frac{z^2}{6} + \frac{z^2}{2} - \frac{z}{2} - \frac{E}{2\beta H} \right) \quad (12)$$

Para aislar la influencia del gradiente de densidad se define

$$\frac{\delta \zeta}{\delta X} = i_Q + i_M \quad (13)$$

La intrusión salina en los acuíferos costeros es un fenómeno natural debido a la mayor densidad del agua del mar. Se puede agudizar y modificar por la explotación de agua subterránea, las acciones sobre el territorio que reduzcan la recarga de los acuíferos y las obras costeras que supongan drenajes y modificación de las permeabilidades (Custodio, 2017).

3 Marco teórico - Generalidades sobre energías marinas

3.1 Desarrollo sostenible

El objetivo del desarrollo sostenible es satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias.

3.2 Energías renovables

Se denomina energía renovable a la que se obtiene de fuentes naturales, las cuales se consideran inagotables; unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras, porque son capaces de generarse por medios naturales (SEMARNAT, 2015). Las fuentes renovables de energía son de libre disposición, distribuyéndose en amplias zonas encontrándose disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes (Secretaría de Gobernación, 2014).

Las fuentes de energía renovables cumplen una función en la prestación sostenible de servicios energéticos y, particularmente, en la mitigación del cambio climático. En el presente Informe Especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático se explora la contribución actual y el potencial de las fuentes de energía renovables para la prestación de servicios energéticos, siguiendo una vía de desarrollo social y económico sostenibles, Sin embargo, las energías renovables se siguen enfrentando a muchos retos debido a la inestabilidad de los recursos, los costos de producción y la variabilidad intrínseca de las fuentes (Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático., 2011) .

Algunas de las ventajas económicas que se obtiene de la generación de las energías eléctricas con recursos renovables, incluyen la reducción de las tarifas, la generación de empleos directos, generación de empleos indirectos (Secretaría de Gobernación, 2014)

3.3 Las energías limpias

Son aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan (SENER, s.f.)

- Energía Eólica
- Energía Geotérmica
- Energías del océano

Algunas de las ventajas económicas que se obtiene de la generación de las energías eléctricas con recursos renovables, incluyen la reducción de las tarifas, la generación de empleos directos, generación de empleos indirectos (Cámara de Diputados México, 2019) .

3.4 Energías del océano

Los océanos contienen el 97% del agua presente en la tierra y el 71% de la superficie de la tierra está cubierta por agua de mar. Aproximadamente 3,000 millones de personas viven a menos de 200 km de la costa y es probable que la migración duplique este número para 2025 (Creel, 2003). Por lo tanto, las fuentes de energía oceánica pueden ofrecer un potencial listo para el suministro de energía, calefacción y refrigeración, agua potable y otros productos a los mercados costeros (Silva, et al., 2017).

Los mares constituyen una enorme fuente de energía, disponible en diversas formas, como son:

3.4.1 Corrientes de marea

Las mareas astronómicas, derivadas de fuerzas gravitacionales de atracción entre la Luna, Tierra y el Sol principalmente, impulsan oscilaciones en el agua y a su vez genera corrientes. El impulso de la marea en el mar cambia al inundar lagunas costeras, desembocaduras de río, ensenadas o bahías y la velocidad del flujo se modifica en respuesta al contorno y batimetría, (Esmeralda Cervantes Rendón, 2018)

3.4.2 Corrientes oceánicas

Los grandes sistemas de corrientes marinas del océano, son enormes masas de agua con patrones complejos, impulsadas por el viento y el calentamiento solar de las aguas superficiales cerca del ecuador.

Las corrientes oceánicas son relativamente estables en el tiempo y el espacio, atraviesan océanos, bordean y bañan costas de continentes completos y son portadoras de un gran potencial energético. El reto principal del aprovechamiento de las corrientes oceánicas es que se encuentren a grandes profundidades. Algunas corrientes son profundas y estrechas, pero otras son poco profundas y anchas. Las corrientes a menudo se ven afectadas por la forma del fondo del océano. Algunos se mueven rápidamente mientras que otros lo hacen más lentamente (AQUAE FUNDACIÓN, 2021).

3.4.3 Amplitud de mareas

Esta es la energía potencial que gana la superficie del agua por la diferencia de altura entre la pleamar y bajamar.

Las mareas cuentan con un tiempo característico en que suben y bajan. El tiempo que transcurre entre las dos alturas la máxima y la mínima se le denomina periodo y es aproximadamente de 24 horas cuando la marea es diurna o de 12 horas cuando es semidiurna o mixta. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse interponiendo partes móviles al movimiento natural de ascenso o descenso de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje.

3.4.4 Oleaje

Es el aprovechamiento energético del movimiento ondulatorio de la superficie del mar.

El oleaje es generado por la fricción del viento que sopla sobre la superficie del océano y suele ser muy irregular. Las alturas de las olas y, por lo tanto, su energía es mayor en latitudes más altas (más de 40 ° desde el Ecuador por ejemplo en las costas del norte de Estados Unidos), donde los vientos alisios soplan en grandes extensiones de mar

abierto y transmiten su energía al océano en forma de oleaje. Las costas orientadas al oeste de los continentes tienden a tener mejores recursos de energía del oleaje por ejemplo la Costa del Pacífico Mexicano (Electric Power Research Institute, 2011).

3.4.5 Energía térmica oceánica

El potencial térmico del océano surge de la diferencia de temperaturas entre el agua superficial, que puede estar 20 °C o más caliente que la temperatura a grandes profundidades. El agua caliente se utiliza para evaporar un fluido de trabajo que moverá una turbina, mientras que el agua fría se utiliza para condensar dicho fluido y repetir el ciclo.

Este tipo de energía es prácticamente inagotable puesto que está relacionada con grandes procesos climatológicos, sin embargo, se busca que su instalación sea donde la temperatura superficial del agua sea muy elevada.

3.5 Gradiente salino

Esta es la energía que se obtiene a través de la diferencia de concentraciones entre el agua dulce y el agua de mar.

La energía del gradiente salino es completamente renovable y sostenible. Es la que posee la densidad de energía más alta de todas las fuentes de energía renovables marinas. En la década de 1970, se reconoció que el poder de salinidad o "la energía representada por el gradiente de concentración de salinidad entre el agua dulce y el agua de mar" podría ser un recurso atractivo, grande y sin explorar.

Existen varias tecnologías para aprovechar el gradiente salino:

- Presión Osmótica Retardada (PRO)
- Capacitive mixing (Cap Mix)
- Electrodiálisis Inversa (RED)

3.5.1 Presión Osmótica Retardada (PRO)

La tecnología PRO consiste en un sistema que contiene dos soluciones con diferente concentración de sal, las cuales se ponen en contacto mediante una membrana semipermeable al agua, a través de la cual hay intercambio solo desde la solución diluida a la solución concentrada. Cuando se aplica presión hidrostática a la solución concentrada, el transporte de agua será retardado. Cuando el transporte de agua va desde la solución diluida a la concentrada a alta presión, se tiene como resultado una presurización del volumen de agua que puede ser aprovechado por una turbina de impulso (Achilli & Childress, 2009; Jia, et al., 2014).

En la técnica PRO, la membrana es un material funcional ya que el rendimiento de las membranas depende en términos de caudales y selectividades estando en función principalmente de la naturaleza de los elementos contenidos en las dos fases y de la fuerza directriz que se aplica.

3.5.2 Mezcla Capacitiva (CapMix)

CapMix es una técnica la cual se basa en un ciclo de cuatro pasos durante el cual los electrodos van acumulando carga eléctrica en presencia de corriente de alta salinidad los cuales se descargan en presencia de la corriente cuya salinidad es baja. Los electrodos que se utilizan en esta tecnología se llaman electrodos capacitivos . La energía resultante se conoce como energía neta ya que la energía requerida para cargar a los electrodos capacitivos es menor a la energía liberada en la descarga (Brogioli, 2009).

3.5.3 Electrodialisis Inversa (RED)

La tecnología RED permite convertir la energía libre del mezclado de dos soluciones con diferente concentración de NaCl en energía eléctrica, mediante el paso de aniones y cationes a través de membranas de intercambio iónico selectivas. El gradiente de salinidad que se genera se da mediante un arreglo intercalado, constituye una diferencia de potencial químico a través de cada membrana, que se manifiesta en un potencial de membrana, el cual se traduce en una diferencia de potencial eléctrico entre

las dos caras de una membrana. La diferencia de potencial total entre los compartimientos extremos de la pila se calcula como la sumatoria de los potenciales de cada una de las membranas (J. Veerman, 2008).

Esta técnica (RED) hace uso de membranas de intercambio iónico (IEMs) que son responsables de controlar el paso de iones entre corrientes con diferente salinidad, lo que hace a las membranas el componente clave en el proceso de este sistema. Dichas membranas se colocan en una pila de módulos alternando una membrana de intercambio catiónico (CEM, por sus siglas en inglés) y una membrana de intercambio aniónico (AEM, por sus siglas en inglés). La distancia que separa a las dos membranas utiliza espaciadores poliméricos que garantizan el grosor de compartimiento adecuado. Estas unidades de membrana se repiten en la pila (nombrada célula par) y contienen cuatro elementos: una CEM, una AEM, un compartimiento de solución concentrada y un compartimiento para la solución diluida. En la pila de membranas, el sistema tiene canales alternados por donde se controla el flujo de entrada y salida de agua con distinta salinidad. La diferencia de concentración entre ambas soluciones actúa como fuerza transportadora de los iones que pasan a través de las membranas, las cuales controlan su paso mediante su permeabilidad, es decir, los cationes (principalmente Na^+) entran a través de las CEM y los aniones (principalmente Cl^-) a través de las AEM, viajan en direcciones opuestas. La corriente iónica que atraviesa las membranas es convertida en una corriente eléctrica a través de reacciones REDOX que se llevan a cabo en los dos extremos de la pila donde se colocan los electrodos. Las reacciones REDOX son posibles porque los compartimientos terminales de la pila (compartimientos de electrodos) contienen una solución de electrolito (solución de enjuague de electrodo, ERS por sus siglas en inglés) con una pareja REDOX adecuada (por ejemplo, cloruro de $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$) (Post, et al., 2007; G. Micale, 2016). Cuando no hay carga externa conectada a los electrodos (en condiciones de voltaje de circuito abierto) la diferencia de potencial químico entre las dos soluciones es contrarrestada por la tensión que surge en las interfaces de membrana y no se genera corriente iónica dentro de la pila.

La tecnología RED permite convertir energía libre del mezclado de dos soluciones con diferente concentración de sal en energía eléctrica, mediante el paso de cationes y

aniones por membranas selectivas catiónicas y aniónicas. El paso de los iones va de la solución concentrada a la solución diluida. El gradiente de salinidad que se genera mediante este arreglo intercalado, constituye una diferencia de potencial químico a través de cada membrana, que se manifiesta en un potencial de membrana, el cual se traduce en una diferencia de potencial eléctrico entre las dos caras de una membrana. La diferencia de potencial total entre los compartimientos extremos de la pila se calcula como la sumatoria de los potenciales de cada una de las membranas.

RED ha sido estudiado como una forma viable de explotar los gradientes de salinidad existentes en la naturaleza como estuarios de ríos basados en el uso de salmueras industriales como las derivadas de plantas de desalinización o en salinas.

Cuando no hay carga externa conectada a los electrodos (en condiciones de voltaje de circuito abierto) la diferencia de potencial químico entre las dos soluciones es contrarrestada por la tensión que surge en las interfaces de membrana y no se genera corriente iónica dentro de la pila.

Entre las ventajas de obtener energía a partir del gradiente salino se encuentran: el hecho que existe un suministro continuo de materia prima (si se usa agua de río y agua de mar), no hay producción de contaminantes atmosféricos que aporten al cambio climático tales como NOX o CO₂, no hay aumentos de temperatura, ni desechos radioactivos y no hay fluctuaciones diarias abruptas en la producción de energía debido a cambios en radiación solar o velocidad del viento.

3.5.3.1 Membranas de intercambio iónico

Las membranas de intercambio iónico consisten en películas con grupos cargados, éstas pueden ser de diferentes materiales como resinas o polímeros, así como distintos grupos funcionales que proveen propiedades. Son estructuras porosas que contienen cargas fijas, neutralizadas con las cargas opuestas móviles, las cargas fijas repelen iones de carga similar mientras que la membrana permanece semipermeable a iones de carga opuesta.

Las membranas de intercambio iónico se dividen en membranas aniónicas y membranas catiónicas las cuales contienen grupos fijos cargados positivos y negativos respectivamente.

a) Membranas catiónicas

Las membranas catiónicas contienen una matriz porosa en la cual están fijos grupos electronegativos, los grupos de intercambio más habituales son los sulfonato y carboxilato: $-\text{SO}_3^-$, $-\text{COO}^-$, $-\text{PO}_3^{2-}$, $-\text{SO}_2\text{R}$. Estos al interactuar con las cargas móviles (contraiones de carga positiva).

b) Membranas aniónicas

Las membranas aniónicas análogamente solo permitirán el paso de aniones, los grupos fijos en ese caso serán de carga positiva, los grupos de intercambio aniónico tales como el amonio cuaternario o una amina terciaria: $-\text{NR}_3^+$, $-\text{NH}_3^+$, $-\text{NH}_2\text{R}^+$, PR_3 , balanceados con grupos funcionales negativos.

3.5.3.2 Principios físicos de RED

Para determinar la cantidad de energía neta que se puede producir con este método, es necesario considerar la cantidad de energía que se requiere para impulsar las bombas que producen el flujo de agua. Se tiene que:

$$P_{net} = P_{total} - \frac{P_{bomba}}{2NA_m} \quad (14)$$

Donde P_{net} es la cantidad de energía neta que se puede obtener; P_{total} es la cantidad de energía total que se genera; A_m es el área de la membrana y N es el número de pares de membranas y P_{bomba} es la energía que se gasta al utilizar el sistema de bombeo, está descrito por:

$$P_{bomba} = 2(\Delta p_t Q) \quad (15)$$

Siendo Δp_t es la caída de presión de entrada y salida entre el apilamiento de las celdas y Q_V es el caudal del flujo de la solución menos concentrada. El factor 2 se aplica en

este caso porque se trata de dos flujos de agua, el de la solución menos concentrada y la más concentrada.

P_{total} es la diferencia de potencial entre los electrodos, se puede analizar como un circuito de voltaje abierto VOC (del inglés open-circuit voltage) que depende de la resistencia interna del apilamiento de membranas (R_i) y de la carga externa en el circuito. P_{total} alcanza su valor máximo cuando (R_i) y la carga externa son iguales. Por lo tanto, se obtiene:

$$P_{total} = \frac{VOC^2}{4R_i} \quad (16)$$

El VOC es lo que suministra energía a todo el proceso en RED y representa la suma de las diferencias de potencial en cada membrana, que depende principalmente de la relación que guarden los coeficientes de actividad (γ, γ') con sus respectivas concentraciones, (c) para la solución concentrada y (d) para la solución diluida, obteniendo (Dlugolecki, et al., 2008) :

$$VOC = 2N\alpha \frac{RT}{F} \ln\left(\frac{\gamma_c - \gamma'_c}{\gamma_d - \gamma'_d}\right) \quad (17)$$

Donde, α es la permeabilidad de la membrana, R es la constante universal de los gases, T es la temperatura absoluta, F es la constante de Faraday, γ es el coeficiente de actividad y γ' es la concentración de la solución salina en la superficie de la membrana.

3.5.4 Plantas de generación energía de Gradiente Salino

3.5.4.1 Planta de generación RED

En Países Bajos, varios actores iniciaron una investigación en 2003 y comenzaron a explorar RED para la generación de energía. En 2005, se inicio conjuntamente un proyecto piloto de 50 kW, liderados por REDStack y Fujifilm, situado en el sitio de defensa marítima y la calzada principal llamamda “ Afsluitdijk” que separa agua dulce y salada relativamente limpia presente en el Mar de Wadden Figura 9 (IRINEA, 2020)



Figura 8. Sitio de la planta piloto RED en Afsluitdijk en Países Bajos.

3.5.4.2 Planta de generación PRO

Statkraft desarrolló la primera aplicación de planta de energía PRO en 2006. Utilizó 2000 m² de membranas planas. Fue inaugurado oficialmente en noviembre del 2009 y técnicamente podría producir 10 kW, aunque la producción real rondaba los 5 kW Figura 9 . Desde entonces, Statkraft ha estado investigando la mejora de sus membranas. Además, Statkraft también realiza investigaciones en la reducción alto costo del pretratamiento del agua, así como en la reducción de consumo de energía de las bombas (IRENA, 2014; Institute for Infrastructure, 2011).



Figura 9. Statkraft, Planta Piloto en Tofte, 2011

3.5.5 Planta de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas es un conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables del agua, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales en la Figura 10 se puede observar un sistema de sedimentadores con clarificadores.

Las aguas residuales pueden provenir de actividades industriales o agrícolas y del uso doméstico. Los tratamientos de aguas industriales son muy variados según el tipo de contaminación y pueden incluir precipitación, neutralización, oxidación química y biológica, reducción, filtración, osmosis, electrodiálisis, etc.



Figura 10 Planta de tratamiento en Toluca (GMD Infraestructura, s.f.)

3.5.6 Desalinización

La desalinización o desalación del agua consiste en un proceso de tratamiento del agua por el cual el agua del mar o agua salobre, hasta convertirla en apta para el consumo humano y los usos industrial y agrícola.

La desalinización puede realizarse por medio de diversos procedimientos en donde se minimiza los niveles de salinidad en el agua.

3.5.6.1 Sistemas térmicos

En el proceso de desalinización térmica se necesita calor para provocar el cambio de estado del líquido a vapor, que prácticamente es independiente de la salinidad que tenga el agua y es el proceso en el cual el agua de mar se calienta hasta evaporarla, posteriormente el vapor se condensa formando agua dulce y el agua sobrante se desecha como salmuera concentrada. Este proceso suele usarse donde hay calor residual o suficiente electricidad disponible, como sucede en refinerías, centrales eléctricas, la cual es una solución viable y eficiente.

Existen dos versiones diferenciadas, según el método usado para el suministro de energía:

a) Destilación multi-efecto (MED), un proceso de vapor a baja presión

Los sistemas MED se configuran en base de tubos verticales u horizontales. El vapor se condensa en un lado del tubo lo que ocasiona la evaporación de agua salada en el otro lado. El agua salina al evaporarse es distribuida sobre la superficie exterior de los tubos calentados. Dentro de cada efecto MED, se rocía agua marina fresca sobre un grupo de tubos de intercambio térmico mientras el vapor que fluye a través de los tubos se condensa volviéndose agua pura. Fuera de los tubos, la delgada película de agua marina hierve a medida que absorbe el calor del vapor. El vapor resultante pasa a través de eliminadores de rocío para atrapar gotas de salmuera remanentes antes de que el vapor se introduzca en los tubos para el próximo efecto. El proceso se repite a través de toda la planta. Configuraciones MED alternativas que emplean tubos verticales o superficies de transferencia de calor planas también están disponibles (WHO, 2007).

b) Compresión mecánica de vapor (MVC)

Los sistemas MVC funcionan comprimiendo vapor de agua, lo que causa condensación sobre una superficie de transferencia de calor permitiendo al calor de la condensación ser transferido a la salmuera del otro lado de la superficie resultando en vaporización de esta. El compresor es el requerimiento de energía principal, este aumenta la presión

en el lado del vapor y baja la presión del lado del agua salada para bajar su temperatura de ebullición (Cipollina, 2007).

3.5.6.2 Procesos a través de membranas

Este proceso separa el agua salina por medio de membranas en dos corrientes una con salmuera concentrada y otra con una concentración de sales disueltas. Los sistemas más utilizados son:

a) Osmosis inversa

El proceso de ósmosis inversa consiste en aplicar presión sobre una solución de agua salada y hacerla pasar a través de una membrana semipermeable cuya función es permitir el paso del disolvente (agua) a través suya, pero no el soluto (las sales disueltas). El disolvente (el agua) pasa a través de la membrana, desde el lado donde la concentración de sales es más elevada hacia el lado donde la concentración de sales es menor. El resultado es que la parte de la solución concentrada se agota en favor de la dulce, que se ve incrementada.

Este proceso de tratamiento de agua se realiza gracias al aporte de energía exterior en forma de presión, y que vence a la presión osmótica natural presente en dicha solución.

b) Electrodialisis

Es un proceso de separación electroquímico en donde se transfieren iones a través de membranas de intercambio iónico por medio de un campo de corriente continua. En este tipo de tecnología es necesario ensamblar celdas apareadas cargadas positiva y negativamente (Condorchem envitech, 2021).

Las sales disueltas ionizadas atraviesan las membranas, y de esta manera se eliminan a las partículas cargadas eclécticamente, lo que provoca una reducción de salinidad del orden de 40%.

3.5.6.3 Congelación

El agua de mar se pulveriza en una cámara refrigerada, de esta manera se forman cristales, estos cristales se separan y se lavan con agua normal, así se obtiene agua dulce.

3.5.7 Ordenamiento Ecológico Territorial

Es un instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos.

El ordenamiento ecológico territorial es un instrumento de la política ambiental diseñado para caracterizar, diagnosticar y proponer formas de utilización del territorio y sus recursos naturales, bajo el enfoque de uso racional, diversificado y participativo. En él que se pretende organizar el uso y ocupación del territorio acorde con las potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos sectoriales de desarrollo (económico, social, cultural y ecológico) (SEMARNAT, 2013).

4 Diseño conceptual de una planta de SGE

En este capítulo se realiza un diseño conceptual de una planta de generación de energía por medio del gradiente salino.

4.1 Sitio de Estudio

La zona litoral mexicana es un espacio urbanizado solo en algunas porciones. Es una zona dinámicamente comercial en el mundo, la cual es estratégica para el desarrollo del país. En el actual panorama se requiere crear nuevas modalidades de organización territorial para lograr un desarrollo económico, social, ambiental favorable.

En la Figura 11 se muestran los principales ríos del país. Se investigaron algunos de los principales ríos del país y la selección fue el estado de Veracruz.

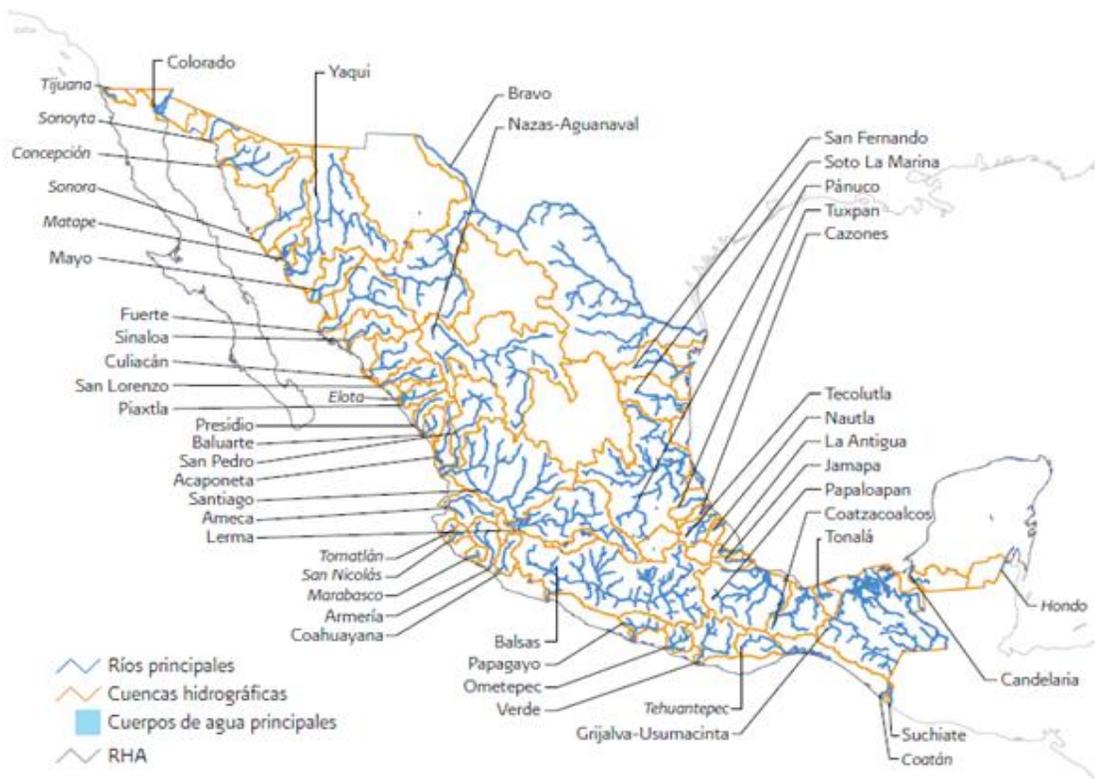


Figura 11 Mapa de República mexicana (Conagua. Subdirección General de Programación. , 2011).

El estado de Veracruz cuenta con 13 cuencas hidrológicas, de las cuales 11 son exorreicas, es decir, drenan directamente en el Golfo de México, y cubren 94% de la superficie total del estado. Dichas cuencas entran en contacto con el mar por medio de ríos y lagos a lo largo de aproximadamente 745 km de línea litoral, drenando sus aguas hacia la plataforma continental.

Tuxpan es una zona agrícola en donde la principal actividad costera es la pesca que se realiza en pequeñas comunidades, hasta llegar a Costa Esmeralda, una zona costera que en los últimos años se ha impulsado para un desarrollo turístico.

El agua del Río Tuxpan, la cual procede de la zona urbana de Tuxpan Veracruz, antes pasa por una planta de tratamiento de aguas la cual no es suficiente para la cantidad de contaminantes y desechos.

La Laguna de Tampamachoco se localiza en la llanura costera del estado de Veracruz, México, a 9 km al noroeste de la ciudad de Tuxpan. Se ubica entre los 20°18'-21°02'N y los 97°19'- 97°22'W. Forma parte del complejo lagunar Tamiahua-Tampamachoco pertenecientes al Sitio Ramsar 1602, "Manglares y Humedales de Tuxpan" Figura 12. Tiene una forma alargada y se sitúa paralela a la línea de costa, con una longitud de 10.6 km y ancho máximo de 2.7 km; ocupando un área de 15 km². Está separada del Golfo de México por una barrera arenosa de nombre "Barra Galindo", al norte se conecta con la Laguna de Tamiahua a través de un canal natural y uno artificial, al sur con el río Tuxpan por un pequeño estuario.

El acuífero Álamo-Tuxpan está en riesgo latente por la contaminación con hidrocarburos debido a la existencia de infraestructura de Petróleos Mexicanos, además del riesgo debido a la explotación intensiva del agua subterránea generando así conos de abatimiento que invierten la dirección del flujo subterráneo hacia la salida del mar y se produzca intrusión marina (Secretaría de Gobernación, 2016).

Actualmente el acuífero está en riesgo debido al incremento de la demanda de agua subterránea y que esto conlleve a problemas como la profundización de niveles de

extracción, la inutilización de pozos, el incremento de los costos de bombeo, la disminución e incluso desaparición de los manantiales, del caudal base, salidas subterráneas y evapotranspiración, con la consecuente afectación a los ecosistemas, así como el deterioro de la calidad del agua subterránea, por lo que es necesario prevenir la sobreexplotación, proteger al acuífero de un desequilibrio hídrico y deterioro ambiental que pudiera llegar a afectar las actividades socioeconómicas que dependen del agua subterránea en esta región (Secretaría de Gobernación, 2016) .

Para este sistema existe el “Programa de Manejo del Área de Protección del Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan” en el cual se plantea lo siguiente.

Los manglares y humedales de Tuxpan se ubican en la costa del Golfo de México en la Región Terrestre Prioritaria (RTP-103) para la Conservación de México. Es importante la conservación del manglar, ya que es el manglar más grande que aún queda al norte del Papaloapan. En los alrededores de los manglares y humedales de Tuxpan, el cambio de uso de suelo hacia las actividades agropecuarias, urbanas e industriales es significativa. Esta zona de manglar está considerada como el último reservorio de vegetación costera original del municipio de Tuxpan. Una gran variedad de aves se encuentra reportadas para el sitio. Estos humedales revisten un importante hábitat para muchas especies de estuario y marinas. En el programa Nacional de Zonas Húmedas tiene inscrito con el No. 18, la Laguna de Tamiahua, la cual, con base en la descripción de su ficha técnica, se extiende hasta la Laguna de Tampamachoco. La Laguna de Tampamachoco representa también una de las lagunas más ricas en especies de peces, de las cuales están reportadas aproximadamente 179

Para proponer un diseño de una planta RED en Tuxpan se generó la siguiente información:

En la Figura 12 se muestra la Zona potencial para el diseño conceptual de la planta de generación de energía de gradiente salino. La zona de estudio que es la costa de Tuxpan cuenta con la desembocadura del Río Pantepec (Tuxpan) al mar y el cruce del río con la Laguna Tampamachoco, en donde los efluentes tienen una diferente concentración y pueden combinarse para generar energía



Figura 12. Zona potencial para el diseño conceptual de la planta de generación de energía de gradiente salino.

Es fundamental conocer la composición físico-química del agua para poder darle el pretratamiento adecuado y no dañar el núcleo de la planta que es la pila RED. Para este caso se extrajeron datos de diferentes puntos a lo largo del sistema lagunar para poder conocer la calidad del agua. A continuación, se mencionan 6 diferentes puntos los cuales están diferente color de acuerdo a las tablas 1 a 3 (Conagua, 2021).

Puntos de extracción de datos

1. Barra Tuxpan
2. Puente Tuxpan
3. Puente Laguna Tampamachoco
4. Laguna Tampamachoco
5. Puente Tuxpan
6. Tenechaco 2

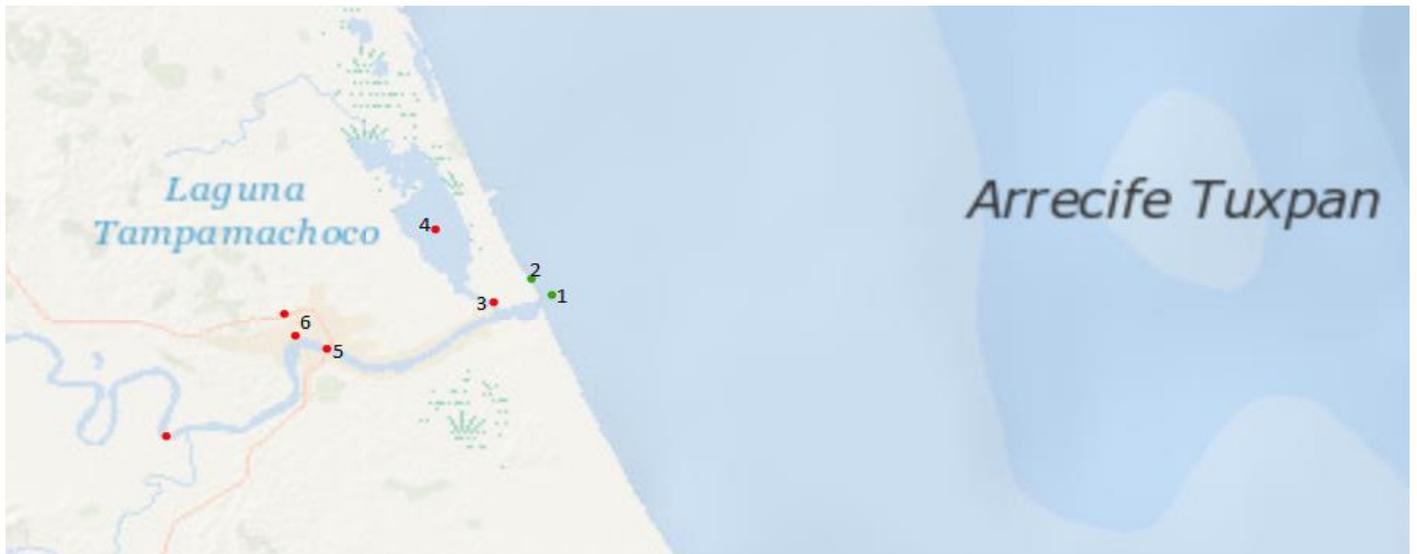


Figura 13 Puntos de muestra de Sistema Nacional de Información del agua.

Para el análisis del sistema lagunar Tuxpan-Tampachoco se tomaron como referencia 6 puntos como se puede observar en la Figura 13. En las tablas 1 a 3 se pueden observar los parámetros de calidad del agua. Los parámetros mostrados como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Coliformes fecales entre otros nos muestra los componentes del agua que son de origen municipal. Existen plantas de tratamiento de agua saliendo de la ciudad de Tuxpan en las cuales el agua por completo no es tratada. En casos como Tuxpan la población tiene ciertos problemas debido a la calidad del agua.

Tabla 1 Valores permitidos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (SEMARNAT, 2019)

Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO_5)		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
$DBO_5 \leq 3$	EXCELENTE NO CONTAMINADA	Azul
$3 < DBO_5 \leq 6$	BUENA CALIDAD Aguas Superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
$6 < DBO_5 \leq 30$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de Autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
$30 < DBO_5 \leq 120$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
$DBO_5 > 120$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

Tabla 2 Valores permitidos para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) (SEMARNAT, 2019).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
DQO ≤ 10	EXCELENTE NO CONTAMINADA	Azul
10 < DQO ≤ 20	BUENA CALIDAD Aguas Superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
20 < DQO ≤ 200	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de Autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
40 < DQO ≤ 200	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
DQO > 200	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipaless	Rojo

Tabla 3 Valores permitidos para Sólidos Suspendidos Totales (SST) (SEMARNAT, 2019).

Sólidos Suspendidos Totales (SST)		
Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
$SST \leq 25$	EXCELENTE NO CONTAMINADA	Azul
$25 < SST \leq 75$	BUENA CALIDAD Aguas Superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable	Verde
$75 < SST \leq 150$	ACEPTABLE Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de Autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente	Amarillo
$150 < SST \leq 400$	CONTAMINADA Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal	Naranja
$SST > 400$	FUERTEMENTE CONTAMINADA Aguas superficiales con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales	Rojo

Los valores denotados en las tablas de 4, 5 y 6 con valores aproximados a -1000 o 1000 mg/l son valores fuera del rango mostrados en las tablas 1, 2 y 3.

Tabla 4. Valores de dos puntos de medición 1 y 2 del Sistema Nacional de Aguas (Conagua, 2021).

OCGCE3403	Barra Tuxpan (Costero)	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	-999.99 mg/l	
Demanda Química de Oxígeno	-999.99 mg/l	
Sólidos Suspendidos Totales	47 mg/l	Buena calidad
Coliformes fecales	430 NMP_100 ml	Aceptable
Escherichia coli	-999.99 NMP_100 ml	
Enterococos fecales	109 NMP_100 ml	Buena calidad
Saturación de oxígeno disuelto	-999.99%	
Saturación de oxígeno disuelto superficial	73.00%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto medio	70.10%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto fondo	69%	Buena calidad
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas	999.99 UT	
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas superficial	999.99 UT	
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas fondo	999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos	999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos fondo	1.06 UT	Toxicidad Baja
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos superficial	0.5 UT	No Tóxico
Contaminantes presentes en incumplimiento		

OCGE3402	Playa Tuxpan	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	-999.99 mg/l	
Demanda Química de Oxígeno	-999.99 mg/l	
Sólidos Suspendidos Totales	52 mg/l	Buena calidad
Coliformes fecales	52 NMP_100 ml	Excelente
Escherichia coli	-999.99 NMP_100 ml	
Enterococos fecales	20 NMP_100 ml	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto	-999.99 UT	
Saturación de oxígeno disuelto superficial	73.00%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto medio	-999.99 %	
Saturación de oxígeno disuelto fondo	-999.99 %	
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas	999.99 UT	
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas superficial	999.99 UT	
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas fondo	999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos	999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos fondo	0.5 UT	No Tóxico
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos superficial	0.5 UT	No Tóxico
Contaminantes presentes en incumplimiento		

Tabla 5. Valores de dos puntos de medición 3 y 4 del Sistema Nacional de Aguas (Conagua, 2021).

OCGCE3404	Puente de Tuxpan	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1 mg/l	Excelente
Demanda Química de Oxígeno	84.414 mg/l	Contaminada
Sólidos Suspendidos Totales	26 mg/l	Buena calidad
Coliformes fecales	2037 NMP_100 ml	Contaminada
Escherichia coli	285.5 NMP_100 ml	Buena calidad
Enterococos fecales	308 NMP_100 ml	Contaminada
Saturación de oxígeno disuelto	69.55%	Buena calidad
Saturación de oxígeno disuelto superficial	88.60%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto medio	79.40%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto fondo	69%	Buena calidad
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas	3.92 UT	Toxicidad moderada
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas superficial	-999.99 UT	
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas fondo	-999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos	0.5 UT	No Tóxico
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos fondo	0.5 UT	No Tóxico
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos superficial	2.98 UT	Toxicidad moderada
Contaminantes presentes en incumplimiento	DQO, CF, ENT_FEC	

OCGCE3400W1	Laguna Tampamachoco	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1 mg/l	Excelente
Demanda Química de Oxígeno	756.13 mg/l	Fuertemente contaminada
Sólidos Suspendidos Totales	39.5 mg/l	Buena calidad
Coliformes fecales	21.5 NMP_100 ml	Excelente
Escherichia coli	1.5 NMP_100	Excelente
Enterococos fecales	10 NMP_100	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto	999.99 %	
Saturación de oxígeno disuelto superficial	73.30%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto medio	88.90%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto fondo	89%	Excelente
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas	-999.99 UT	
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas superficial	-999.99 UT	
Toxicidad, Daphnia magna 48 horas fondo	-999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos	-999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos fondo	0.5 UT	No Tóxico
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos superficial	0.5 UT	No Tóxico
Contaminantes presentes en incumplimiento	DQO	

Tabla 6. Valores de dos puntos 5 y 6 de medición del Sistema Nacional de Aguas (Conagua, 2021).

OCGCE3401W1	Puente Laguna Tampamachoco	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1 mg/l	Excelente
Demanda Química de Oxígeno	89.245 mg/l	Contaminada
Sólidos Suspendidos Totales	25 mg/l	Excelente
Coliformes fecales	1100 NMP_100 ml	Contaminada
Escherichia coli	74.5 NMP_100ml	Excelente
Enterococos fecales	282.5 NMP_100 ml	Contaminada
Saturación de oxígeno disuelto	-999.99%	
Saturación de oxígeno disuelto superficial	78.20%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto medio	71.40%	Excelente
Saturación de oxígeno disuelto fondo	764%	Excelente
Toxicidad, Dafnia magna 48 horas	-999.99 UT	
Toxicidad, Dafnia magna 48 horas superficial	3.71 UT	Toxicidad moderada
Toxicidad, Dafnia magna 48 horas fondo	5.96 UT	Toxicidad alta
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos	-999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos fondo	0.5 UT	No Tóxico
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos superficial	0.5 UT	No Tóxico
Contaminantes presentes en incumplimiento	DQO, CF, ENT_FEC, TOX_F	

OCGCE3405	Tenechaco 2	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	-999.99 UT	
Demanda Química de Oxígeno	-999.99 UT	
Sólidos Suspendidos Totales	24 mg/l	Excelente
Coliformes fecales	2400 NMP_100 ml	Contaminada
Escherichia coli	-999.99 NMP_100 ml	
Enterococos fecales	1725 NMP_100 ml	Fuertemente contaminada
Saturación de oxígeno disuelto	-999.99 UT	
Saturación de oxígeno disuelto superficial	66.80%	Buena calidad
Saturación de oxígeno disuelto medio	66.43%	Buena calidad
Saturación de oxígeno disuelto fondo	63%	Buena calidad
Toxicidad, Dafnia magna 48 horas	999.99 UT	
Toxicidad, Dafnia magna 48 horas superficial	999.99 UT	
Toxicidad, Dafnia magna 48 horas fondo	999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos	999.99 UT	
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos fondo	3.01 UT	Toxicidad moderada
Toxicidad, Vibrio Fisheri 15 minutos superficial	3.85 UT	Toxicidad moderada
Contaminantes presentes en incumplimiento	CF, ENT_FEC.	

4.2 Secciones e instalaciones de la planta

El diseño conceptual se divide en cuatro secciones principales: pretratamiento, generación de energía, tratamiento de integración a la red y áreas complementarias.

4.2.1 Pretratamiento

Este proceso, situado a la entrada de la planta es para eliminar residuos sólidos, arenas y grasas. Para que éstos no dañen los equipos en las siguientes fases de la planta de generación de energía y no se genere sedimentación en las tuberías y conductos, obstruyéndolos o produciendo pérdidas de eficacia. En todos los procesos se eliminan contaminantes medio procesos físicos.

El proceso incluye sedimentadores primarios, los cuales tienen un promedio de eficiencia de 40% de demolición de materia orgánica, en casos como el de Tuxpan en la entrada del agua del río será importante la necesidad de un sedimentador secundario el cual tendrá una eficiencia de 80%.

Antes de poder ingresar al sistema RED deben pasar los efluentes por filtros de zeolita en donde se eliminarán los sólidos restantes y pequeñas partículas. Estos filtros se caracterizan por atrapar partículas pequeñas de 3-5 micras (Next Filtration Technologies inc., 2004).

4.2.1.1 Monitoreo de la calidad del agua

En la planta de generación de energía se debe contemplar el monitoreo de la calidad del afluente y efluente de tal modo que cualquier falla pueda detectarse rápidamente y tomar las medidas pertinentes.

Las muestras de agua a lo largo de la planta deben ser tomadas de acuerdo a un método estándar de muestreo, se recomienda realizar un muestreo compuesto, es decir, que la muestra debe ser constituida por muestras simples tomadas a distintas horas del día.

La eliminación correcta de los amargos es fundamental. Si la planta desaladora se encuentra cerca del mar, los problemas de disposición serán considerablemente

menores, ya que el mayor contaminante concentrado es la sal que al ser vertida al mar no conlleva mayores problemas, sin embargo, se debe tener cuidado con los problemas debido a adición de productos, oxígeno disuelto y temperatura del agua (Perea, 1999; Herazo, 2015).

4.2.2 Generación de energía

El núcleo de la planta es un conjunto de celdas electroquímicas en las cuales se lleva a cabo una reacción redox y se genera una diferencia de potencial lo cual conlleva a la generación de energía. Debido al pretratamiento que se les da a los efluentes se evita que las membranas tengan un tiempo de vida menor y los procesos físico-químicos puedan llevarse de manera adecuada.

4.2.2.1 Diseño preliminar del núcleo de generación

La parte central de la planta es la generación de energía en donde se deben tomar en cuenta diferentes aspectos para su diseño como lo son la selección de membranas, el par redox, la solución electrolítica, el número de celdas necesarias. Para esto es fundamental seleccionar las membranas que optimicen el proceso, en la Tabla 7 se muestra la lista de las membranas más utilizadas para electrodiálisis inversa Tabla 7 *Lista de membranas disponibles en el mercado* (Fumatech, s.f.; Corporation, s.f.; AGC, s.f.; Excellion™ Membranes, 2014; Doornbusch, et al., 2021) .

Tabla 7 Lista de membranas disponibles en el mercado (Fumatech, s.f.; Corporation, s.f.; AGC, s.f.; Excellion™ Membranes, 2014; Doornbusch, et al., 2021)

Membrana				Grosor de espaciadores (µm)	Densidad de potencia (Ω/cm²)
Catión	Anión	Distribuidor	País		
FKD	FAD	Fuell cell store	USA	200	0.93
FKD	FAD	Fuell cell store	USA	200	1.17
CMS	ACS	Ameridia	USA	200	0.6
CMX	AMX	Ameridia	USA	200	0.65
CMX	AMX	Ameridia	USA	190	0.46
CMV	AMV (tienen ASV)	Selemion	Japón	200	1.18
H,PP-b	H,PP-b- tipo 1	Excellion	USA	200	

Fujiflim CEM Type 10	Fujiflim Type 10	Fujiflim	Países bajos	120	2
Fujiflim AEM Type 10	Fujiflim Type 10	Fujiflim	Países bajos	120	1.7
Fujiflim CEM Type 2	Fujiflim Type 2	Fujiflim	Países bajos	160	8
Fujiflim AEM Type 2	Fujiflim Type 2	Fujiflim	Países bajos	160	5

ACS: Membrana de intercambio aniónico monovalente Neosepta

AEM: Membrana de intercambio aniónico

AMV: Membrana de intercambio aniónico Selemion

AMX: Membrana de intercambio aniónico Neosepta

CEM: Membrana de intercambio catiónico

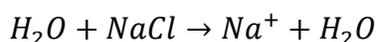
CMV: Membrana de intercambio catiónico Selemion

CMX: Membrana de intercambio catiónico Neosepta

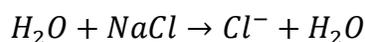
Las membranas que se podrían adaptar al sistema RED del diseño de la planta son las Fujiflim AEM Type 10 y Fujiflim AEM Type 10. Estas membranas tienen un rango de 95-99 % de permselectividad y menor resistencia eléctrica (Doornbusch, et al., 2021). Dichas membranas son utilizadas en la bibliografía debido a sus propiedades físico-químicas, son las membranas más estudiadas, en este trabajo al ser teórico se tomaron en cuenta los principales estudios en la tecnología para la selección de las mismas (Diego Pintossi, 2021; Michele Tedesco, 2017).

Dentro de las pilas RED en cada una de las celdas se llevan a cabo reacciones electroquímicas, como anteriormente se mencionó las membranas catiónicas solo dejan el paso a iones Na^+ y la membrana aniónica deja el paso a los aniones Cl^- como se muestra a continuación.

La membrana catiónica, sólo deja el paso a los cationes Na^+



La membrana aniónica, sólo deja el paso a los aniones Cl^-



Al juntar de nuevo los productos de cada lado de las membranas se obtiene la siguiente ecuación en donde los iones vuelven a unirse.

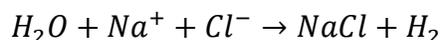


Tabla 8. Sistema de electrodiálisis usado en la literatura por Veerman. (Veerman, 2010)

anode	Anolyte+bulk	Catholyte + bulk	Catode	Autor – electrode reactions
-------	--------------	------------------	--------	-----------------------------

Ti/Rulr	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ NaCl/HCl	$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ NaCl/HCl	Ti/Rulr	Cath: $\text{Fe}^{3+} + e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ Anode: $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e$
Ti/Rulr	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}/\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ NaCl	$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ / $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ NaCl	Ti/Rulr	Cath: $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + e \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ Anode: $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + e$
Ti/Rulr	NaCl	NaCl/ $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ NaCl	Ti/Rulr	Cath: $2 \text{H}_2\text{O} + 2e \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ Anode: $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2e$

En la Tabla 8 se describen los sistemas electrolíticos usados por Veerman, más adelante en el diseño, se mostrará la selección del sistema electrolítico propuesto. Se comenzará el diseño del núcleo de la planta que es el sistema de las pilas RED como lo expresa la Figura 14.

El sistema consiste en dos alimentaciones, una de agua concentrada con una capacidad de 300 l, la segunda con 300 l de agua diluida y la última alimentación de solución electrolítica de 5 l.

La primer y segundas celdas están compuestas de 200 pares de membranas, la tercera contiene solo 150 pares. La potencia de la planta se estima sea de 5 MW. Las concentraciones utilizadas para el diseño fueron 5M de NaCl y 0.1M NaCl, la temperatura a la que se realizó el diseño fue a de 25 °C.

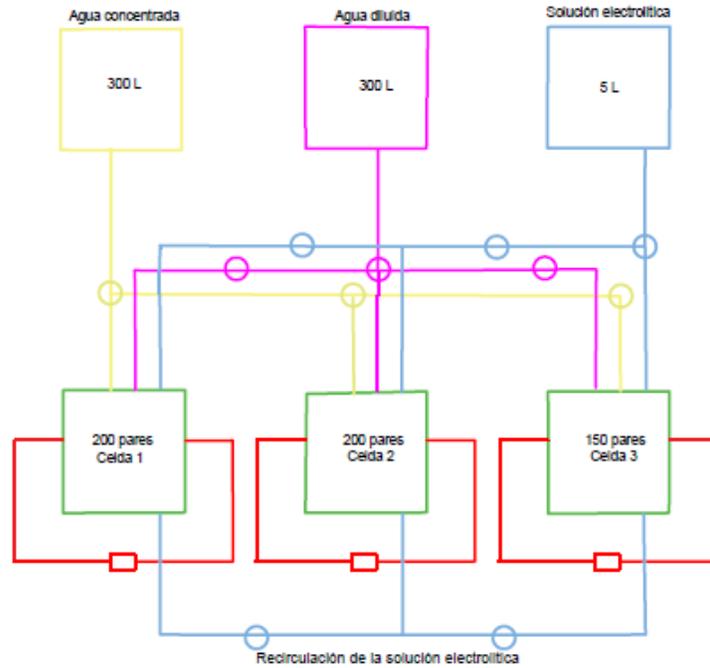


Figura 14. Diseño conceptual de la pila RED.

Las concentraciones recomendadas para el diseño son las siguientes 5 M y 0.1 M. Los iones son Cl⁻ y Na⁺ se realiza el mismo calculo para ambos iones, z=1.

Primero se necesita realizar el cálculo de la fuerza iónica. Donde I es la fuerza iónica, C_i la concentración y, z_i^2 el número de cargas llevadas por el ion i (valor absoluto).

$$I = \frac{1}{2} \sum m_1 z_1^2$$

Los siguientes cálculos son para la fuerza iónica concentrada 5 M.

$$I = \frac{1}{2} \sum (5M)_1 (1)_1^2 = 5M$$

Los siguientes cálculos son para la fuerza iónica diluida 0.1 M.

$$I = \frac{1}{2} \sum (0.1M)_1 (1)_1^2 = 1M$$

Los valores de I concentrada son de 5 M y I diluida es de 1M. Es necesario realizar el cálculo de $\log \gamma_i$ el cual tiene que realizarse para la solución concentrada y diluida.

$$\log \gamma_i = Az_i^2 \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + Ba\sqrt{I}} \right)$$

Donde $\log \gamma_i$ es el coeficiente de actividad de un ion tipo i , A y B son constantes y dependen de la temperatura y de la constante dieléctrica del disolvente. Para soluciones acuosas a $25\text{ }^\circ\text{C}$, z_i^2 es el número de cargas llevadas por el ion i , I fuerza iónica.

Los siguientes valores son para valores de Na^+ y Cl^- para soluciones concentradas 5 M. En la siguiente Tabla 9 se muestran los valores para los coeficientes para soluciones concentradas. Los valores mostrados en la Tabla 9 y Tabla 10 son dependientes de la temperatura.

Tabla 9. Resultados de coeficientes para soluciones concentradas.

Coeficientes	a (Na^+)	4
	b (Na^+)	0.075
	a (Cl^-)	3.5
	b (Cl^-)	0.015

En la siguiente Tabla 10 podemos observar valores son para valores de Na^+ y Cl^- para soluciones diluidas.

Tabla 10. Resultados de coeficientes para soluciones diluidas.

Coeficientes	a (Na^+)	4
	b (Na^+)	0.075
	a (Cl^-)	3.5
	b (Cl^-)	0.015

La siguiente Tabla 11 muestra los valores obtenidos para los iones en las soluciones concentradas y diluidas. Los valores dados como γ_{Na^+} son adimensionales ya que están dados por la ecuación con la que se obtiene el cálculo de fuerza Iónica

$$\log \gamma_{\text{Na}^+} = -Az_i^2 \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + Ba_i\sqrt{I}} \right) \quad (18)$$

Tabla 11. Muestra los valores obtenidos para los iones en las soluciones concentradas y diluidas.

Valores Obtenidos		
Cc Na	5	M
Cc Cl	5	M
Cd Na	0.1	M
Cd Cl	0.1	M
yc Na+	0.516273698	
yc Cl-	0.482347465	
yd Na+	0.771121834	
yd Cl-	0.763536847	

El VOC es lo que suministra energía a todo el proceso en RED y representa la suma de las diferencias de potencial en cada membrana, que, depende principalmente de la relación que guarden los coeficientes de actividad (γ, γ') con sus respectivas concentraciones, (c) para la solución concentrada y (d) para la solución diluida, obteniendo la ecuación (17), donde N es el número de celdas y Alfa es la constante de permeabilidad dada por la membrana.

Tabla 12. Valores de constantes para el cálculo de VOC

Constantes		Unidades
N	200	
Alfa	0.99	
R	8.314472	J/Kmol
T	293.15	k
F	96500	C
yc Na+	0.516273698	
yc Cl-	0.482347465	
yd Na+	0.771121834	
yd Cl-	0.763536847	

En la Tabla 12 se observan los valores de constantes para la obtención del valor de VOC, que es de 314.8546 V.

Al hablar de RED se toma en cuenta un circuito en serie, entonces la resistencia interna del apilamiento de membranas (R_i) es la suma total de las resistencias de las membranas de intercambio aniónico y catiónico. Estas resistencias están en los compartimientos de cada membrana, donde el espesor del compartimiento es h (distancia entre membranas) y k es la conductividad de la solución, el límite de difusión (DBL_s), por sus siglas en inglés), resistencia (R_{DBL}) y la resistencia de los electrodos (R_{el}), obteniendo:

$$R_i = N \left(R_{CEM} + R_{AEM} + \frac{h_c}{k_c} + \frac{h_d}{k_d} + R_{DBL} \right) + R_{el} v \quad (19)$$

Todas estas resistencias se dan en ohmios menos (DBL_s) éstos, en la Tabla 13 observamos los valores presentes para el cálculo de R_i .

Tabla 13. Valores de constantes y propuestos para el cálculo de R_i .

Constantes		Unidades
RCEM	2	Ω
RAEM	1.7	Ω
hc	0.03	
kc	5	
hd	0.03	
kd	0.05	
R_{el}	1.678E-08	Ω
v	100	L
Q	25.0	L/m
t	4	min
h	50	m
L	50	m
R_{DBL}	4	Ω

La suma de resistencias $R_i = 1245.90 \Omega$

ΔV_{teo} indica el potencial teórico de membrana, α_{av} , es la perm-selectividad media de la membrana para un anión y un par de membranas de intercambio catiónico, R es la constante de gas), F es la constante de Faraday (96485 C / mol), a_c es la actividad de

la solución concentrada (mol / L) y a_d es la actividad de la solución diluida (mol / dm³), dada por la ecuación $\Delta V_{teo} = \frac{2\alpha_{av}RT}{zF} \ln \frac{a_c}{a_d}$ (20).

$$\Delta V_{teo} = \frac{2\alpha_{av}RT}{zF} \ln \frac{a_c}{a_d} \quad (20)$$

Tabla 14. Constantes para obtención de ΔV_{theo}

Constantes		Unidades
ΔV_{theo}		
R	8.31	J/Kmol
T	293.15	k
z	1	
F	96,500	C
a_c	4.99	
a_d	0.15	
ln	3.48	
ΔV_{theo}	0.088	87.95 V

P_{total} es la diferencia de potencial entre los electrodos, se puede analizar como un circuito de voltaje abierto VOC (del inglés open-circuit voltage) Tabla 14 que depende de la resistencia interna del apilamiento de membranas (R_i) y de la carga externa en el circuito. P_{total} ecuación (16). Alcanza su valor máximo cuando (R_i) y la carga externa son iguales. Por lo tanto, obtenemos ver Tabla 15.

Tabla 15. Valores obtenidos para P total

Ptotal	19.8919342 W
VOC	99133.4436 V
Ri	1244.9 Ω

La planta trabajaría de la siguiente manera (recordar que el objetivo es mostrar el diseño conceptual de una planta de generación de energía de gradiente salino):

Tabla 16. Suma de potencial en las tres pilas propuestas.

Total		
Pila 1	19.89	W

Pila 2	19.89	W
Pila 3	11.18	W
Total	50.97	W

La potencia total es de 50.97 W esto es el resultado de la suma de las tres pilas se observa en Tabla 16, en 4 minutos (765 W en una hora) por lo cual anualmente podría generar 6.6978 MWh.

En la Figura 15 se puede observar cómo es el intercalado de alimentaciones dentro de las celdas, la recirculación de la solución electrolítica la cual es el par $K_4[Fe(CN)_6]$ / $K_3[Fe(CN)_6]$ Ferro/Ferri cianuro potasio el cual se mantendrá de manera segura dentro del sistema de pilas RED y no correrá peligro para con el ambiente. Los electrodos serán de Ti recubiertos de IrRu.

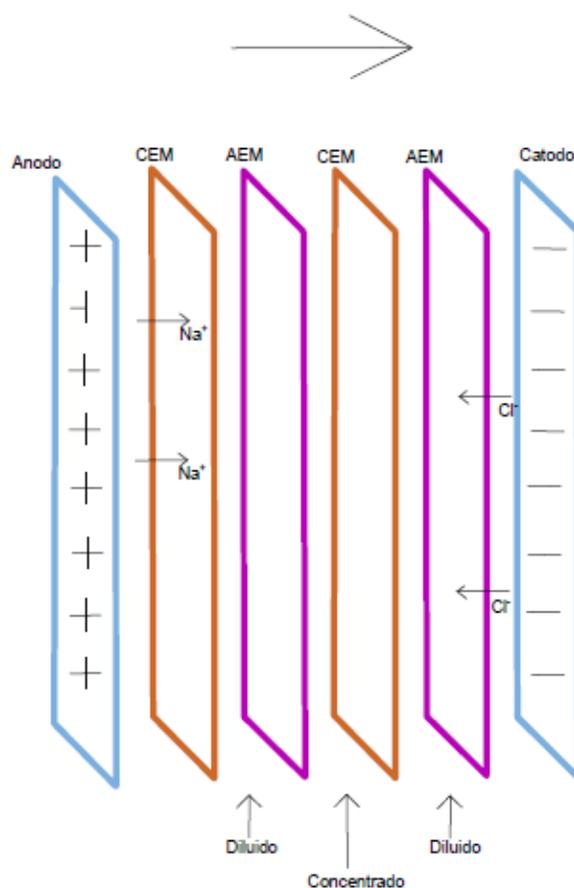


Figura 15 Muestra de celda electroquímica.

La Figura 16, muestra el interior de la pila, el acomodo intercalado en donde se colocó la membrana catiónica (la cual sólo deja el paso a los iones cargados positivamente), por ella pasaron los iones Na^+ , en el otro extremo pasa algo similar ya que se colocó la membrana aniónica (la cual sólo deja el paso a los iones cargados negativamente), por ella pasan los iones Cl^- . Las membranas que se recomienda usar en este tipo de dispositivos son membranas Fujifilm tipo 10 CEM/AEM. Estas cuentan con propiedades físico-químicas que se han adaptado a experimentos y plantas piloto (Michele Tedesco, 2017; Diego Pintossi, 2021).

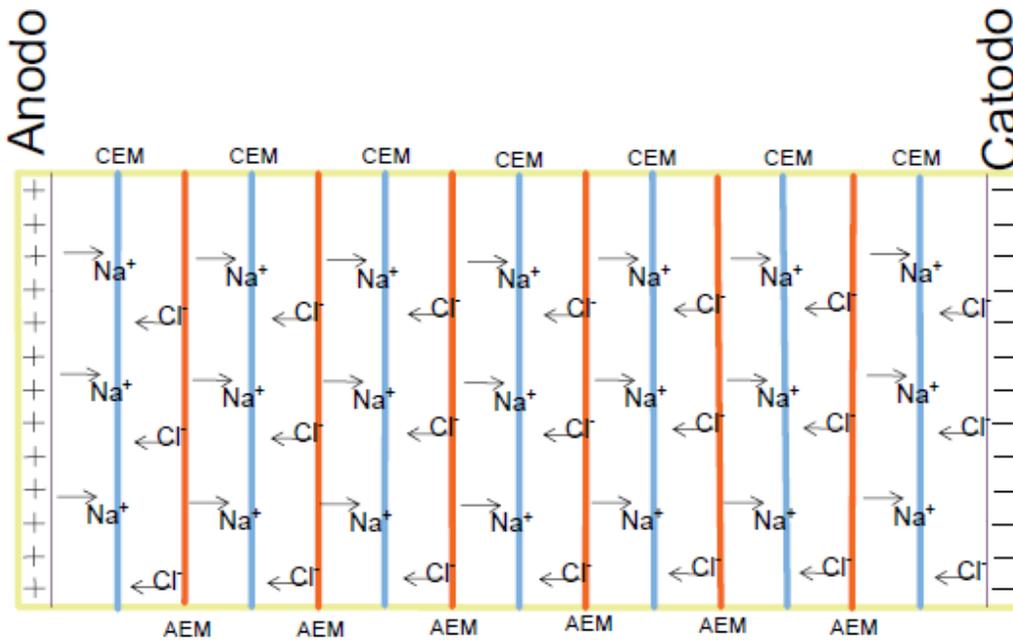


Figura 16. Movimiento iónico dentro de la celdas.

Al salir del sistema de pilas RED, ambos efluentes podrían ser integrados para pasar por un clarificador que permita que el efluente cumpla con las normas como lo son la NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-ECOL-1996, NOM-003-ECOL-199 las cuales esclarecen los límites máximos permisibles de contaminantes. Es fundamental recordar que el proceso que se llevó a cabo dentro del sistema de pilas que fue el intercambio iónico contribuyó a la deionización de los efluentes.

La capacidad de una planta con las características mencionadas es de 6.7 MW/h lo cual podría cubrir las necesidades del tratamiento de agua y el autoconsumo para pequeñas comunidades costeras.

4.2.3 Tratamiento de integración a la red

Los efluentes de la pila se conforman en uno solo, este efluente pasa por clarificador en el cual se deberá revisar la calidad del agua y hacer lo necesario para cumplir con la normativa.

4.2.4 Áreas complementarias

El diseño cuenta con una sección especial en donde se encuentran los controles de la corriente de luz. Un laboratorio en donde se podrán analizar la calidad del agua a lo largo del proceso, qué sucede dentro de las pilas, electrodos, membranas. Un taller para poder solucionar cualquier problema en los equipos y la planta tenga un funcionamiento óptimo.

4.2.4.1 Instalaciones y áreas de apoyo de la planta

Para sistemas como la zona costera de Tuxpan en donde existe contaminación municipal es necesario que las alimentaciones pasen por un tratamiento previo, donde pasarán por una serie de procesos de sedimentación de sólidos, se filtrarán, para que al entrar al sistema RED no existan problemas de incrustación. Los efluentes al entrar al sistema RED no habrán perdido ninguna propiedad química, los tratamientos al ser solo físicos no afectan en nada. A continuación, se explicará detalladamente el funcionamiento de cada equipo conformante en el diseño de la planta.

a) Cárcamo de bombeo

La planta consta de una sección de cárcamo de bombeo en donde se alimentan los flujos de entrada y permite el flujo hacia los sedimentadores.

b) Sedimentador primario

La labor del sedimentador primario es la eliminación del 40% de los sólidos suspendidos, grasas, arenas presentes en las alimentaciones (CONAGUA, SEMARNAT, s.f.).

c) Sedimentador secundario

Los sedimentadores secundarios contribuyen a eliminar el 80% de sólidos suspendidos, grasas, arenas presentes en las alimentaciones que no se pudieron remover en el primer sedimentador.

d) Filtro

Los filtros de zeolita son ideales para retener cargas de sedimentos, materia orgánica. Y que los efluentes entren al sistema RED sin partículas y puedan incrustarse en las membranas o deteriorar el sistema. Son una parte fundamental del proceso ya que sin ellos las membranas podrían dañarse rápidamente. Los filtros de zeolita diariamente tienen que darles mantenimiento, 10 min de retrolavado y 5 min de acomodo de los mismos.

La planta tendrá un paro de labores dos veces al año para si inspección, mantenimiento y reparación. Las inspecciones son para revelar posibles problemas que puedan causar daños graves.

4.2.4.2 Sistemas complementarios:

Transformadores: Aquí se podrá aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.

Laboratorio: Aquí se analizarán las muestras diarias de la calidad del agua, concentración, pH. Además de que se deberá seguir investigando en nuevas tecnologías e innovaciones.

Las pruebas que se analizarán de los efluentes, después de la salida de los sedimentadores, filtros, sistema RED y clarificador. Estos análisis deberán incluir los siguientes parámetros (CONAGUA, SEMARNAT, s.f.) .

- pH
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Solidos Suspendidos y Sedimentables.
- Grasas y Aceites.
- temperatura
- Oxígeno disuelto
- Demanda química de Oxígeno.

Los muestreos se recogerán a la salida de los equipos donde los efluentes estén mezclados.

Taller: La labor principal del taller será para darle mantenimiento a los equipos, arreglar cualquier problema en la planta.

Oficinas: En las oficinas se arreglarán problemas técnicos además de brindar un amplio espacio para la investigación. Se llevarán a cabo actividades administrativas como la verificación del cumplimiento de normas.

Clarificador: En este equipo el efluente que es el último equipo por el cual pasa el sistema antes de ser r conectado a la red del rio deberá cumplir con la normativa necesaria porque en este equipo se deberá medir la concentración de cloro, ya que es el último equipo por los que los efluentes pasan antes de integrarse a la red.

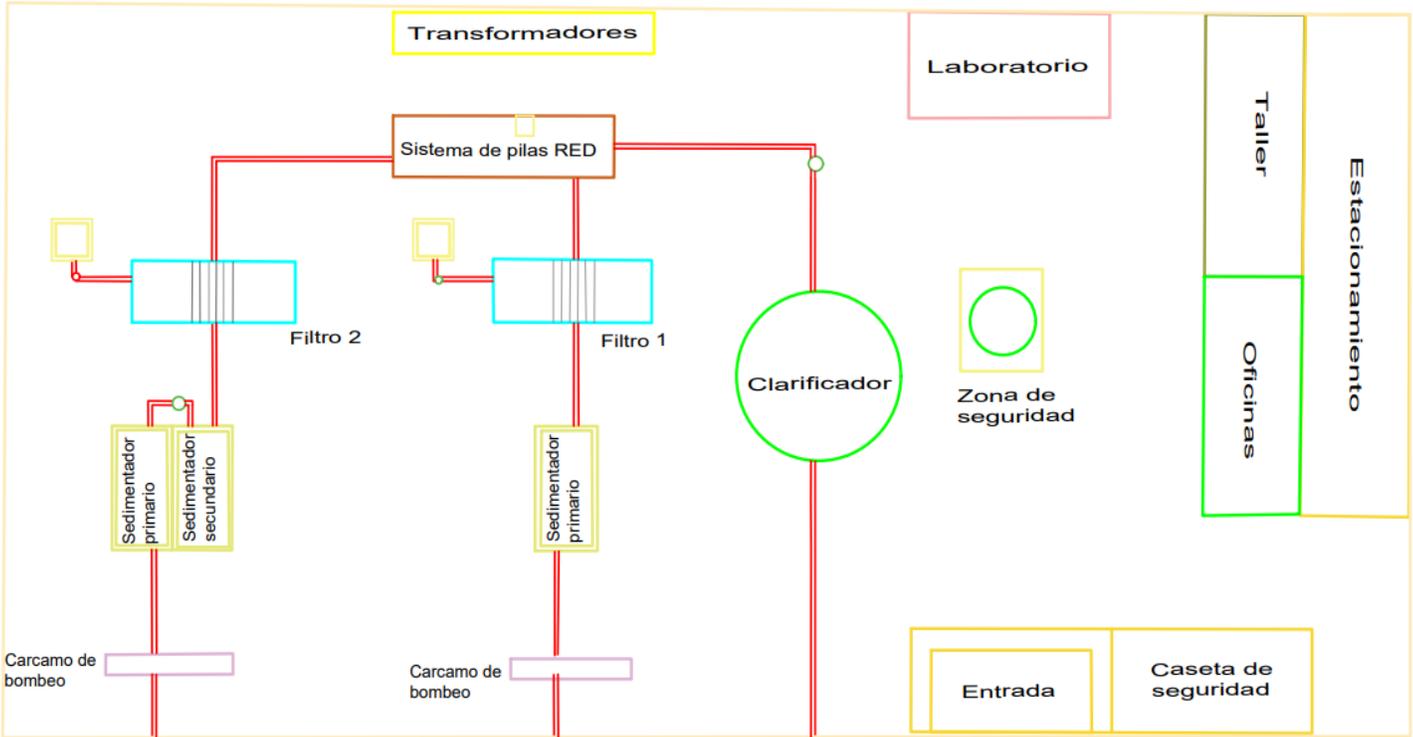


Figura 17. Diseño conceptual de la planta de generación de energía por la tecnología RED

Es importante conocer la situación de la zona en donde se podría acoplar sistemas RED, ya que el agua de salida podría integrarse al río o seguir con ciertos pasos del tratamiento para que la misma pueda ser potable. El diseño conceptual de la planta de generación de energía por la tecnología RED se puede observar en la Figura 17.

4.2.5 Manejo de residuos y efluentes

Los sólidos suspendidos, grasas arenas desechados en el primer parte del proceso que son los sedimentadores se dejarán secar por completo y se dividirán en dos: los plásticos serán recolectados y mandados a una planta de reciclaje y, los lodos restantes se usarán como composta en los campos agrícolas. En el proceso de filtraje sucederá lo mismo que con los sedimentadores.

Los efluentes serán monitoreados a lo largo del proceso. El efluente de salida de las pilas RED puede variar a lo largo del proceso debido a que la concentración puede variar, en estos casos es fundamental que antes, durante y después del clarificador se

tengan mediciones del pH para que se pueda cumplir la normatividad y puedan reintegrarse a la red.

La concentración de contaminantes Básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el máximo permisible, el rango permisible del pH es de 6.5 a 10. El pH menor a 5.5 podrían indicar que las aguas residuales pueden convertirse en sépticas (CONAGUA, SEMARNAT, s.f.; SEMARNAT, 2003; SEMARNAT, 1998). Cuando la concentración de NaCl supere una densidad de 1.206 Kg/m^3 se denominan amargos son sustancias con un grado elevado de toxicidad para los organismos vivos, que, frente a una exposición constante e intensiva, llegan a ocasionarles la muerte, por los elevados niveles de concentración de sal (SEMARNAT, s.f.; Anon., 2013).

4.2.6 Manejo de riesgos

Los efluentes de ríos en México contienen residuos orgánicos como se pueden observar en las tablas 1, 2 y 3, los contaminantes comúnmente presentes son de origen municipal por lo que no corren gran riesgo para su manejo y pueden separarse para composta o llevar plantas de reciclaje en donde puedan tener una segunda oportunidad y ayudar al medio.

En el anexo II en donde se propone un manual de la planta, vienen algunas consideraciones en caso de intoxicación, daño físico, así como acciones preventivas para los operadores.

Los criterios para la selección del lugar óptimo para el diseño de la planta fueron principalmente que en el cruce de la desembocadura de la laguna con el río es una zona en donde los efluentes no han sido del todo tratados siguen teniendo contaminantes y ahí además tenemos aguas con diferentes concentraciones.

1. Sitios como Tuxpan que cuentan con una ubicación geográfica en donde se dan naturalmente gradientes de concentración es idóneo para la generación de energía por medio de gradiente salino.

2. Los efluentes al presentar en su composición algún tipo de contaminante, ayuda a que los mismos al llegar a las desembocaduras no lleguen contaminados y no afecten a flora y fauna local.

3. Beneficiaría a las comunidades locales debido a que la calidad del agua mejoraría notablemente, lo cual beneficiaría los servicios que estos ofrecen, así como la pesca y con esto ingresos para la comunidad.

Los efluentes que entran a la planta tienen un contenido de aguas residuales de origen municipal mismos que podrían tener consigo bacterias, virus y protozoarios o sustancias químicas y surgen las llamadas “enfermedades de origen hídrico”. Estos contaminantes que se encuentran en el agua pueden entrar al organismo a través de diferentes vías, oral, al ingerir agua, dermal, al bañarnos, y al inhalar, por estar dispuestos a aerosoles. Los microorganismos que ingresan al cuerpo humano a través de la boca, se manifiestan como enfermedades infecciosas gastrointestinal (Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades , 2020).

Los mangles y humedales de Tuxpan tienen importancia porque cuentan con uno de los mangles mejor conservados de la provincia Biogeográficas del Golfo de México. Junto con los manglares de la Isla del Ídolo en Tamiahua, constituyen los manglares mejor estructurados del norte del Golfo de México. La creación de plantas de gradiente salino al solo generar impacto en su implementación y no en el funcionamiento, son una excelente opción especialmente para lugares, con zonas protegidas.

5 Conclusiones

En el actual trabajo se diseñó conceptualmente una planta eléctrica con generador de energía de gradiente salino.

- El diseño conceptual de una planta eléctrica con generador de gradiente salino mejorará la calidad del agua.
- La energía producida por la planta podría ser con la que funcione el tren de tratamiento de agua.
- Las energías renovables deben equilibrar la demanda energética, por lo que se deben apoyar.

La presente tesis es una serie de recomendaciones en las cuales se planteó el diseño de una planta de generación de energía. El cual podría ser usado en territorios similares los cuales tengan puertos cerca, en donde la calidad del agua no esté contaminada con respecto a las normas mexicanas. En situaciones que lo requiera el diseño puede modificarse para satisfacer las necesidades de la zona.

En la actualidad este tipo de plantas de energía azul consumen mucha energía y están expuestas a cortes de electricidad que pueden afectar sus operaciones. Pero si la propia emisión de la mezcla de agua dulce con agua de mar generase electricidad para abastecer el pretratamiento, se podría cerrar el ciclo de pretratamiento de agua de forma sostenible y ecología.

5.1 Futuras líneas de trabajo

- Se prevé que posterior a este trabajo se investigue la viabilidad de incorporar sistemas RED a plantas desalinizadoras, plantas de tratamiento. Así como la posibilidad de integrar otras tecnologías de gradiente salino.
- Investigar sobre diferentes formas del almacenamiento de energía por gradiente salino.
- Creación de una planta piloto con tecnología RED.

- Investigar sobre la factibilidad de usar más de un tipo de membranas en sistemas RED.

Anexo I

Manual de operación para plantas generadoras de energía.

Medidas generales de seguridad para una planta de generación de energía por medio de gradiente salino

I. Riesgos sanitarios

1. Riesgos sanitarios

Los efluentes de la planta constituyen un vector potencial importante de enfermedades por contacto y /o inhalación. Múltiples patógenos pueden tener un efecto dañino sobre la salud humana.

- Bacterias
- Parásitos
- Hongos
- Reactivos

Los elementos patógenos pueden variar según su origen doméstico o industrial, las condiciones climáticas, nivel de higiene de la planta y las enfermedades endémicas de personas o animales, el riesgo de contaminación puede depender de varias razones.

- La cantidad de microorganismos presentes en las aguas
- El grado de exposición de los trabajadores
- La composición química del agua

2. Acciones preventivas

Los operadores de la planta deberán cumplir con:

- Usar ropa y zapatos técnicos que cubren las partes expuestas del cuerpo.
- Usar guantes de Nitrilo desechables
- Usar mascarillas desechables
- Usar lentes de seguridad (que cubran ojos y laterales)

- Evitar contacto de las manos con la boca, ojos y oídos.
- No consumir alimentos- bebidas dentro de las zonas operativas
- No fumar dentro de las zonas operativas
- Desinfectarse las manos frecuentemente
- Depositar guantes y mascararas desechables en los botes de basura etiquetados

3. Acciones de emergencia

En caso de un contacto accidental es importante conocer la hoja de seguridad de los reactivos utilizados:

- La piel: El uso de gel antibacterial, limpieza con agua y jabón.
- Los ojos: enjuagar con abundante agua limpia
- Por ingestión: El riesgo aumenta al contacto de las manos con la boca al consumir alimentos en zonas operativas o debido a salpicaduras. Si esto sucede consultar un médico a la brevedad posible.

II. Riesgos químicos

1. Determinación de los riesgos

La generación de energía por medio de gradiente salino puede requerir en su proceso el uso de varios productos químicos. Los principales son:

- Desinfección (hipoclorito de sodio, tricloro, gas cloro, ozono)
 - Neutralización de pH (sosa cáustica, cal, ácido nítrico)
 - Coagulación-floculación (polímeros orgánicos o sintéticos)
- Procesos electroquímicos (hidróxido de sodio, cloruro de sodio, agua destilada)

2. Acciones preventivas

Los profesionistas que manipulan productos químicos deben:

- Almacenar los productos químicos en espacios bien ventilados.

- Separar los productos químicos de composiciones diferentes para evitar incendios o reacciones secundarias.
- Evitar la mezcla de productos químicos de composiciones diferentes.
- Al verter un producto químico en un recipiente o tanque, asegurarse que no contenga otro residuo químico (peligro de reacción exotérmica en caso de pH diferentes y/o generación de gases nocivos).
- Al diluir un producto químico, verter primero el agua y luego completar con el producto químico.
- Usar máscaras con filtros apropiados (usualmente de carbón activado)
- Usar ropa y zapatos técnicos que cubren todas las partes del cuerpo.
- Usar guantes largos de neopreno.
- usar lentes transparentes que cubran ojos y laterales.
- Usar calzado cerrado.
- No consumir alimentos-bebidas y no fumar en zonas operativas.

3. Acciones de emergencia

En caso de un contacto accidental es importante conocer la hoja de seguridad de los reactivos utilizados

- La piel: El uso de gel antibacterial, limpieza con agua y jabón, consultar a su médico.
- Los ojos: enjuagar con abundante agua limpia, consultar a su médico.
- Por ingestión de químicos o por inhalación de gases: consultar un médico a la brevedad posible y llamar al servicio de emergencia en caso de pérdida de conciencia.

III. Riesgos con gases orgánicos

1. Determinación de los riesgos.

La materia orgánica contenida en los efluentes utilizados puede generar gases letales cuando se degrada en ausencia de oxígeno. El peligro de estos gases reside en el hecho de ser inodoros a concentraciones elevadas. Algunos gases peligrosos son:

- Ácido sulfhídrico
- Metano

2. Acciones Preventivas

Los profesionistas que deben realizar trabajos a los almacenes

- Utilizar un equipo portátil de medición de concentración de gases (ácido sulfhídrico y de metano, etc.) con alarma, antes y durante los trabajos a realizar. En espacios abiertos (ventilación limitada)
- Usar máscaras (integral recomendada) con filtros apropiados (usualmente de carbón activado).
- Asegurar el trabajador con arnés de seguridad y línea de vida.
- Usar chaleco salvavidas en su caso.

Trabajar en equipo.

En espacios confinados (ventilación nula)

- Contratar profesionales experimentados con equipos especiales

3. Acciones de emergencia

En caso de exposición a gases:

- Niveles bajos: llevar a la víctima a un lugar fresco y bien ventilado, consultar a un médico.
- Niveles altos: si no respira, proporcione respiración artificial. Si respira con dificultad, suministre oxígeno húmedo. Consulte a su médico.

IV. Riesgos de caída

1. Determinación de los riesgos

Las caídas de más de 4 metros, el peligro. En algunos de los tanques del proceso que contienen, aguas residuales, aguas con Salmuera, Aguas Amargas, los principales riesgos son:

- Fracturas
- Riesgo Sanitario
- Ahogamiento

2. Acciones preventivas

Los profesionistas que deben realizar trabajos en alturas o encima de un tanque de agua, deben:

- Considerar las acciones preventivas mencionadas anteriormente.
- Asegurar el trabajador con arnés de seguridad y línea de vida.
- Usar un chaleco salvavidas (en su caso).
- Trabajar en equipo,
- Apagar de inmediato los compresores de aire (sopladores) del tanque aireado en caso de caída sea dentro de los reactores.

3. Acciones de emergencia

- Con golpe severo: consultar a un médico.
- Con fractura, pérdida de consciencia, sangrado: llamar al servicio de emergencia y proporcionar los primeros auxilios.
- En agua sin pérdida de consciencia: desinfección del cuerpo y consultar a un médico a la brevedad posible,
- En agua con pérdida de consciencia: proporcionar los primeros auxilios y llamar al servicio de emergencia.

V. Riesgos Eléctricos

1. Determinación de los riesgos

Los riesgos eléctricos con alta o media tensión son reales debido al uso de transformadores, tableros y equipos electromecánicos en un entorno corrosivo y húmedo. Los principales riesgos son:

- Quemaduras
- Muerte por paro cardíaco.

2. Acciones preventivas

Los profesionistas que manipulan equipos eléctricos y electro-mecánicos deben:

- Tener los equipos y tableros aterrizados; el cableado debe respetar las normas de seguridad industrial.
- Usar zapatos aislantes, casco y lentes de seguridad.
- Verificar que la zona de intervención está seca.
- Colocar una alfombra aislante.
- Cortar la alimentación eléctrica antes de proceder a controles o reparaciones.
- Comprobar la ausencia de alimentación eléctrica con un voltímetro.
- Trabajar con herramientas especiales para electricidad.

3. Acciones de emergencia

En caso de electrocución

- No toque a la persona e interrumpa la fuente de suministro de corriente
- Con ausencia de respiración y pulsos: primeros auxilios y llamar al servicio de emergencia.
- Con quemadura de primer tipo: rociar con agua limpia la quemadura y consultar a un médico a la brevedad posible.
- Con quemadura de segundo y tercer tipo: llamar al servicio de emergencia.

VI. Riesgos con sopladores

1. Determinación de los riesgos

La planta cuenta usualmente con uno o con varios sopladores y/ o compresores. Conjuntamente del riesgo eléctrico, pueden provocar alteración auditiva y quemaduras. Es común que estos equipos alcanzan

- Un ruido > 100 decibeles
- Una temperatura > 100°C

Los principales riesgos son:

- Pérdida de capacidad auditiva
- Quemaduras

2. Acciones preventivas

Los profesionales que realizan trabajos en salas de máquinas deben:

- Utilizar un equipo de medición de ruido en las zonas de exposición (sonómetro).
- Usar un casco de seguridad.
- Usar protectores auditivos en caso de una exposición > 50 decibeles (recomendaciones OMS).
- Usar guantes aislantes para evitar quemaduras al manipular un soplador de aire

3. Acciones de emergencia

En caso de exposición a ruido o en caso de quemaduras:

- Con alteración de capacidad auditiva: consultar a un médico otorrino.
- Con quemadura de primer tipo: rociar con agua limpia la quemadura, consultar a un médico a la brevedad posible.
- Con quemadura de segundo y tercer tipo: llamar al servicio de emergencia.

VII. Riesgos con equipos pesados

1. Determinación de los riesgos

El peso de los equipos en la planta (bomba, motores, compresores, reactores, etc.) pueden llegar a ser mayores a 100 Kg. Los equipos, metálicos, suelen tener partes afiladas que pueden infligir cortes profundos y peligrosos. La caída de equipos puede provocar sangrado o hemorragias internas.

2. Acciones preventivas

Los profesionistas que realizan maní-obras con equipos pesados deben:

- Usar zapatos de seguridad, altos de preferencia para proteger las rodillas.
- Usar un casco de seguridad.
- Usar faja para proteger la espalda.
- Usar guantes de carnaza o en su caso guantes de mallas metálicas.
- Trabajar en equipo.
- Considerar las acciones preventivas antes mencionada.

3. Acciones de emergencia

En caso de un accidente:

- Con golpe fuerte: consultar a un médico a la brevedad para evadir el riesgo de un sangrado interno.
- Con fractura: llamar al servicio de emergencia y proporcionar los primeros Auxilios necesarios.
- Con sangrado: llamar al servicio de emergencia y proporcionar los primeros Auxilios necesarios.

Clasificación de agentes patógenos

- Agente biológico del grupo 1: Este grupo es muy poco probable que causen enfermedades al hombre.
- Agente biológico del grupo 2: Este grupo puede causar una enfermedad en el hombre y puede suponer un peligro para los trabajadores, siendo poco probable que se propague a la colectividad.

- Agente biológico del grupo 3: este grupo puede causar una enfermedad grave en el hombre y presenta un serio peligro para los trabajadores, con riesgo de que se propague a la colectividad.
- Agente biológico del grupo 4: En este grupo se puede causar una enfermedad grave en el hombre y presenta un serio peligro para los trabajadores, con muchas posibilidades de que se propague a la colectividad y sin que exista generalmente un tratamiento eficaz.

Anexo II

Programa de muestreo y medición

El programa de muestreo y medición a ser aplicado en los sistemas de la planta de generación de energía deberá estar dirigido a obtener información en tres campos:

- Control de procesos
- Aspectos económicos
- Criterio de diseño

Control de procesos

El control de procesos es el monitoreo continuo de las operaciones o procesos que conforman el diseño de la planta de generación de energía y es de gran importancia durante el funcionamiento.

El funcionamiento de la planta está conformado por un conjunto de mediciones físicas y determinación de características operacionales como: caudal, balance hidráulico, etc, determinaciones químicas como pH, potencia.

Aspectos económicos

La documentación de los gastos que demandan la operación y el mantenimiento de la planta de generación de energía.

Normas importantes para plantas de generación de energía de gradiente salino

- NOM-001-SEMARNAT-1996: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. (La descarga a aguas marinas, corrientes de agua).
- NOM-002-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- NMX-AA-034-SCFI-2001 Análisis del agua
- Ley de Aguas Nacionales: Referente a la información sobre las limitaciones y conceptos entre los cuerpos de agua.

- NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
- NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.
- Planes Municipales de Desarrollo 2018-2021
- Estrategia para la administración y manejo de superficies de la zona federal marítimo terrestre y playas marítimas destinadas al servicio de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Mapa de Región Planicie Costera y Golfo de México CONANP (sistema arrecifal Lobos Tuxpan (zona que no de dañaría).

Algunas extras que deberían tomar en cuenta si se tuvieran que realizar las mediciones en campo son:

- Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2013, Análisis de agua-Medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba
- Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, Aguas residuales-Muestreo
- Norma Mexicana NMX-AA-007-SCFI-2013, Análisis de agua-Medición de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2011, Análisis de agua-Determinación del pH-Método de prueba
- Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2010, Análisis de agua-Medición de Nitrógeno Total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba
- Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001, Análisis de aguas-Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba
- Norma Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012, Análisis de Agua-Medición de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. -Método de prueba-parte 1-Método de refluo abierto.
- Norma Mexicana NMX-AA-030/2-SCFI-2011, Análisis de Agua-Determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- Método de prueba-parte 2- Determinación del índice de la demanda química de oxígeno-Método de tubo sellado a pequeña escala.
- Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2015, Análisis de agua Medición de sólidos

y sales disueltas en agua naturales, residuales y residuales tratadas-Método de prueba

- Norma Mexicana NMX-AA-042-SCFI-2015, Análisis de agua-Enumeración de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y escherichia coli- Método del número más probable en tubos múltiples
- Norma Mexicana NMX-AA-058-SCFI-2001, Análisis de aguas-Determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-Método de prueba
- Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001, Análisis de aguas-Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas-Método de prueba
- Norma Mexicana NMX-AA-087-SCFI-2010, Análisis de agua-Evaluación de toxicidad aguda con Daphnia magna, Straus (Crustácea-Cladocera)-Método de Prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-102-SCFI-2006, Calidad del agua- Detección y enumeración de organismos Coliformes, Organismos Coliformes Termotolerantes y Escherichia Coli presuntiva-Método de Filtración en Membrana.
- Norma Mexicana NMX-AA-110-1995-SCFI, Análisis de agua-Evaluación de toxicidad aguda con Artemia franciscana Kellogg.
- Norma Mexicana NMX-AA-112-1995-SCFI, Análisis del agua y sedimentos-Evaluación de toxicidad aguda con Photobacterium phosphoreum.-Método de prueba.
- Norma Mexicana NMX-AA-113-SCFI-2012, Análisis de agua- Medición del número de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica-Método de prueba
- Norma Mexicana NMX-AA-120-SCFI-2006, Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas. Apéndice normativo II, Método de prueba Enterococos fecales.
- Norma Mexicana NMX-AA-154-SCFI-2011, Análisis de Agua-Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, residuales, residuales tratadas y marinas Método de prueba

Referencias

Aaberg, R., 2003. Osmotic Power. A new and powerful renewable energy source. *Elsevier Science Ltd. All rights reserved. REDOCUS* , p. 3.

Achilli, A. & Childress, A., 2009. Power generation with pressure retarded osmosis: An experimental and theoretical investigation.. *Journal of Membrane Science*, Volume 343, pp. 42-52.

AGC, n.d. *Selemion Ion-Exchange Membranes*. [Online]
Available at: <http://www.selemion.com/SELC.pdf>
[Accessed 05 Junio 2018].

Alberto Cláudio, C. P. R. N., 2006. *Processos de Separação por Membranas*. Rio de Janeiro : e-papers.

Álvarez-Silva, O. & Osorio, A., 2015. Salinity gradient energy potential in Colombia considering site specific constraints. *Renewable and Sustainable Energy*, Volume 74, pp. 737-748.

Álvarez-Silva, O., Osorio, A. & Winter, C., 2016. Practical global salinity gradient power potencial in Québec, Canada. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 60, pp. 1387-1395.

Anon., 2013. *Coordinación General de Minería*, México: s.n.

AQUAE FUNDACIÓN, 2021. *Cómo se forman las corrientes marinas?*. [Online]
Available at: <https://www.fundacionaquae.org/corrientes-marinas/>
[Accessed 02 12 2021].

Arrechea, G., 2018. *Estuarios: Modelos sostenibles de vida acuática*. [Online]
Available at: <https://www.mypress.mx/negocios/estuarios-modelos-sostenibles-vida-acuatica-2504>
[Accessed 20 Septiembre 2021].

Artículo 3, n.d. Fracción XVI Ley de Transición Energética.

Ávila E. Llongueras A. García A., L. J., 1996. Estudio Comparativp Respecto a Coste y Producción de Diversas Plantas Desalinizadoras de Agua de Mar o Salobre . In: *Memorias del III Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, AEIPRO*. Barcelona, España: s.n., pp. 144-153.

Barcena, M., 2018. *Retro Planeta*. [Online]
Available at: <http://planetaazul.96.lt/2018/04/04/alerta-ecologica-en-el-delta-del-rio->

colorado/

[Accessed 20 Septiembre 2021].

Berrouche, P. y. P. P., 2012. Determination of salinity gradient power potential in Québec. *Renewable Sustainable Energy*, 4 Octubre.pp. 053113-19 053113-19.

Biodiversidad Mexicana , 2021. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. [Online]

Available at: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>

[Accessed 20 Septiembre 2021].

Brogioli, D., 2009. Extracting renewable energy from a salinity difference using a capacitor. *Physical Review Letters*, pp. 31-31.

Brogioli, D., 2009. Extracting renewable energy from a salinity difference using a capacitor.. *Physical Review Letters*, pp. 058501-1 058501-4.

Cámara de Diputados México, 2019. *Cambio Climático: Principales Acciones de Adaptación y Mitigación en México, Marco Jurídico Nacional e Internacional, Iniciativas presentadas, Opiniones Especializadas*, Ciudad de México: s.n.

Castaño, S. V., n.d. *Energy generation from salinity gradients through Reverse Electrodialysis and Capacitive Reverse Electrodialysis*, Medellín Colombia: s.n.

CEMDA, 2017. Marco jurídico de las energías renovables en México.

Centro Estatal de Vigilancia Epidemiológica y Control de Enfermedades , 2020. *Enfermedades por agua contaminada* , s.l.: s.n.

Cervantes, M., n.d. *Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México* , s.l.: s.n.

Cipollina, A., 2005. Efficiency increase in thermal desalination plants by matching thermal and solar distillation: theoretical analysis.. *Journal for Desalination. Desalination*, pp. 127-136.

Cipollina, A., 2007. Efficiency increase in thermal desalination plants by matching thermal and solar distillation theoretical analysis. *Journal for Desalination Desalination*, pp. 127-136.

Collana, J. T. M., 2015. *Evaluación experimental de espaciadores de flujo en la transferencia de masa en un módulo de electrodialisis reversible* , Peru : s.n.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 2020. *Gobierno de México*. [Online]

Available at: <https://www.gob.mx/conanp/es/articulos/manejo-integral-del-fuego-en-la-reserva-de-la-biosfera-pantanos-de-centla?idiom=es>
[Accessed 20 Septiembre 2021].

CONAGUA, SEMARNAT, n.d. *Manual de agua potable, Alcantarillado y Saneamiento. Operación y mantenimiento de plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales : Pretratamiento y Tratamiento*, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Conagua.Subdirección General de Programación. , 2011. *Situación de los recursos Hídricos 2*, s.l.: s.n.

CONAGUA, 2018. *Estadísticas del agua en México*, Ciudad de México: s.n.

Conagua, 2021. *Sistema Nacional de Información del Agua*. [Online]

Available at:

<http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua&ver=mapa&o=7&n=nacional&fbclid=IwAR1aeCpWXIXVyAGilZLW8FbqVy6FPsYSJyBuWiOs1Vh6OUiz0bUBUsI54us>

[Accessed 17 Noviembre 2021].

Condorchem envitech, 2021. *ELECTRODIÁLISIS (ED) Y ELECTRODIÁLISIS REVERSIBLE (EDR)*. [Online]

Available at: <https://condorchem.com/es/electrodesionizacion/>

[Accessed 11 Noviembre 2021].

Corporation, A., n.d. *Ion exchange membrane*. [Online]

Available at: http://www.astom-corp.jp/en/catalog/pdf/Astom_Products_Catalogue.pdf

[Accessed 05 Junio 2018].

Creel, L., 2003. *Ripple Effects :Population and Coastal Regions*, s.l.: s.n.

Cruz, C. d. I., 2006. *La desalinización de agua de mar mediante el empleo d energias renovables*, Madrid España : Laboratorio de Alternativas .

Custodio, E., 2017. *Salinización de las aguas subterráneas en los acuíferos costeros mediterráneos e insulares españoles*. Barcelona: Iniciativa Digital Politècnica, Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC.

D'Angelo, a. G. a. O. S., 2015. Cathodic abatement of Cr(VI) in water by microbial reverse-electrodialysis cells. *Electroanal. Chem*.

Diario Oficial de la Federación, 2017. *Proyecto de Norma Mexicana PROY-NOM-127-SSAI-2017, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua.*, México: s.n.

Diego Pintossi, C. S. M. S. Z. B., 2021. Predicting reverse electrodialysis performance in the presence of divalent ions for renewable energy generation. *Energy Conversion and Management* , Volume 243.

Dlugolecki, P., Nymerijer, K., Metz, S. & Wessling, M., 2008. Current status of ion exchange membranes for power generation from salinity gradients. *Journal of Membrane Science*, Issue 319.

Doornbusch, G. et al., 2021. Multistage electrodialysis for desalination of natural seawater. *Desalination*, pp. 1-11.

Edenhofer, O., Seyboth, K. & Creutzling, F., 2013. On the Sustainability of Renewable Energy Sources.. *Annual Review of Environment and Resources*, Volume 38, pp. 169-200.

Electric Power Research Institute, 2011. *Mapping and Assessment of the United States Ocean Wave Energy Resource* , s.l.: Electric Power Research Institute.

E. M. R. S. A. F. D., 2017. *Energías del Océano "Potencial del gradiente Salino"*. Ciudad de México: Aún no se publican .

Esmeralda Cervantes Rendón, G. M. A., 2018. Energía Renovable a partir de Recursos Naturales. In: *Medio Ambiente y Sociedad. Potencial de la Energía Renovable en México* . Chihuahua: s.n.

Excellion™ Membranes, S. W. T., 2014. *ExcellMembranes*, San Clemente : Enero.

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A., n.d. *Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C.*. [Online]
Available at: <https://agua.org.mx/propiedades-derl-agua/>

Fumatech, n.d. *Ion Exchange Membranes*. [Online]
Available at: https://www.fumatech.com/NR/ronlyres/3DF915E1-47B5-4F43-B18A-D23F9CD9FC9D/0/FUMATECH_BWT_GmbHIon_Exchange_Membranes.pdf
[Accessed 05 Junio 2018].

G. Micale, A. C. A. T., 2016. Chapter Outline. In: *Sustainable Energy from Salinity Gradients*.. Universita` degli Studi di Palermo, Palermo, Italy: s.n.

García, D. J. C., 2015. *Proceso de desalacion de agua de mar mediante un sistema de osmosis inversa de muy alta conversion en tres etapas con recirculacion de permeado y doble sistema de recuperacion de energia*, Bilbao: Universidad Euskal Herriko del pais Vasco Unibertsitatea.

- García, U. M. L., 2005. *Aplicación de la electrodiálisis a la eliminación de nitrato en agua*, s.l.: s.n.
- Germán Eduardo Dévora-Isiordia*, R. G.-E. S. R.-C., 2013. *Evaluation of desalination processes and their development in México*, Sonora, México: s.n.
- GMD Infraestructura, n.d. *GMD Infraestructura*. [Online] Available at: <https://www.gmd.mx/ecosys.html> [Accessed 20 Septiembre 2020].
- Google earth, 2021. [Online].
- Gutiérrez, T. & Suaste, J., 2018. *Agua.org.mx*. [Online] Available at: https://agua.org.mx/seccion_ninos/rios-de-mexico/ [Accessed 29 Mayo 2018].
- Helfer, F. L. C. y. A. Y., n.d. Osmotic power with Pressure Retarded Osmosis: Theory, performance and trends-A review. *Journal of Membrane Science.*, pp. 337-358.
- Helfer, F. y. L. C., 2015. The power of salinity gradients: An Australian example.. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, Volume 50, pp. 1-16.
- HydroQuebec, 2015. A renewable energy option. *Osmotic Power*.
- Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático., 2011. *Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*, s.l.: s.n.
- Institute for Infrastructure, E. a. I., 2011. *Salinity Gradient Power in Europe: State of the Art*, s.l.: s.n.
- IRENA, 2014. *SALINITY GRADIENT ENERGY TECHNOLOGY BRIEF*, s.l.: s.n.
- IRINEA, 2020. *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*, s.l.: s.n.
- J. Veerman, J. P. M. S. S. M. ,. G. H., 2008. Reducing power losses caused by ionic shortcut currents in reverse electro dialysis stacks by a validated model. *Journal of MEMBRANE SCIENCE*, Issue 310, pp. 418-430.
- Jia, Z., Wang, B., Song, S. & Fan, Y., 2014. Blue energy: Current technologies for sustainable power generation from water salinity gradient. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 91-100.
- Karunarathne, H. y. W. S., 2013. Applicability of Pressure Retarded Osmosis Power Generation Technology in Sri Lanka.. *Energy Procedia*, Volume 34, pp. 211-217.

- Kjerfve, B., 1994. *Coastal Lagoon Processes*. New York: Elsevier.
- Lankford, R., 1977. Coastal Lagoons of México , their origin and classification. p. 182.
- Marcelesi, F., 2012. Del desarrollo al postdesarrollo: otra cooperación es posible y deseable.. *Revista de los Pueblos* , Volume 40.
- Medina, J., 1991. *Desalinización de aguas salobres y de mar en ósmosis inversa* , Madrid Epaña: Mundi Prensa.
- Medina, J., 2000. *Calidad del agua*. España: Mundi-Prensa.
- Mengual, J. A. I., 1989. *Fundamentos de los procesos de transporte y separación de membranas*. Murcia, Epaña: EDITUM, 1989.
- Mengual, J. I., 1989. *Procesos de transporte y separación en membranas*. Murcia : Secretariado de Pulicaciones .
- Mercé Raventós, S. D., 2007. Tecnología de membranas. In: Cataluña: s.n.
- Michele Tedesco, A. C. A. T. G. M., 2017. Towards 1 kW power production in a reverse electrodialysis pilot plantwith saline waters and concentrated brines. *Journal of Membrane Science*, Volume 522, pp. 226-236.
- Next Filtration Technologies inc., 2004. *A radically high performance silt, sediment and turbidity media.*, s.l.: s.n.
- Norman, R., 1974. Wate salination: a source of energy.. *Science*, pp. 350-352.
- ONU, 2018. *17 Objetivos para transformar nuestro mundo*. [Online]
Available at: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/la-agenda-de-desarrollo-sostenible/>
- ONU, 2018. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. [Online]
Available at: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- Pattle, R., 1954. Production of electric power by mixing fresh and salt water in the hydroelectric pile. *Nature*, p. 174:660.
- Porta, M., 2002. *Sistema de desalación solar de agua de mar para riego eficiente en un módulo de cultivo*. México: Ingeniería Hidráulica en México..
- Post, J. et al., 2007. Salinity-gradient power: Evaluation of pressure-retarded osmois and reverse electrodialysis.. *Journal of Membrane Science*, pp. 218-230.

Pulido, A. & Rodríguez, T., 2007. La intrusión marina y su incidencia en los acuíferos españoles. *Revista de la Asociación Española para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra.*, pp. 266-273.

R. A. Tufa, E. R. D. C., 2016. "Salinity gradient power-reverse electro dialysis and alkaline polymer electrolyte water electrolysis for hydrogen production. *Journal Membrane*, pp. 155-164.

Rafael Alexandri Rionda, F. R. B., 2017. *Prospectiva del sector Eléctrico 2017-2030*, Ciudad de México: SENER.

Recursos, N. S. d. M. A. y., 2014. SEMARNAT. [Online]
Available at: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/zona-federal/costas-de-mexico>
[Accessed 2018].

Reid, P. y. O., 2001. *Lange: Manual de Química*. s.l.:McGraw-Hill.

R, F. D. M. T. I. V. k. W. v. B. E. D. G. P., 2017. Effect of solution concentration and composition on the electrochemical properties of ion exchange membranes conversion.. Volume 340.

RIC ENERGY, 2020. *Demanda de energía en el mundo*, México: s.n.

Rodolfo Silva, J. L. V. , F., 2017. *Una Visión Internacional para la Energía Oceanica*, México : CEMIE-Océano.

Rosa de Guadalupe González Huerta, J. N. H. P. A. M. R., 2018. *Generation of electrical energy from a salt gradient potential using reverse electro dialysis.*, Paisley, UK: UWS.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018. *Los humedales de México, belleza y riqueza de enorme importancia*. [Online]
Available at: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/los-humedales-de-mexico-belleza-y-riqueza-de-enorme-importancia-145780>
[Accessed 20 Septiembre 2021].

Secretaria de Gobernación, 2014. *Ley de la insdustria eléctrica*. Ciudad de México: s.n.

SEMARNAT MÉXICO , 2018. *Twitter*. [Online]
Available at: https://twitter.com/semarnat_mx/status/1049390283790594049
[Accessed 20 Septiembre 2020].

SEMARNAT, 1998. *Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996*, México: s.n.

SEMARNAT, 2003. *Norma Oficial Mexicana NOM-00-SEMARNAT-1996*, México: s.n.

SEMARNAT, 2006. *Política Ambiental Nacional para el Desarrollo Sustentable de Océanos y Costas de México*, s.l.: s.n.

SEMARNAT, 2013. *SEMARNAT, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. [Online]

Available at:

https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet31ca.html#:~:text=El%20Ordenamiento%20ecol%C3%B3gico%20se%20define,recursos%20naturales%2C%20a%20partir%20del

[Accessed 10 11 2021].

SEMARNAT, 2015. *Gobierno de México*. [Online]

Available at: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convencion-sobre-los-humedales-de-importancia-internacional-especialmente>

[Accessed 19 Febrero 2020].

SEMARNAT, 2015. *Guía de programas de fomento a la generación de energía con recursos renovables*, México: s.n.

SEMARNAT, 2015. *Guía de programas de fomento a la generación de energía con recursos renovables*, CDMX: s.n.

SEMARNAT, 2019. *Indicadores de calidad del agua*. [Online]

Available at:

http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_R_AGUA05_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce&fbclid=IwAR1qvXK7zIE-Gk_k_LKZnpQE0aoTSxY-jN6FLsMiwVAOZB7QL_KzX9sga3M

[Accessed 17 Noviembre 2021].

SEMARNAT, n.d. *Descripción de la Problemática, Programa de Manejo Reserva de la Biosfera Complejo Lagunar Ojo de Liebre*, s.l.: s.n.

SENER, 2017. *Prospectiva de energías renovables 2017-2031*, México: s.n.

SENER, n.d. *¿Qué son las energías limpias?*. [Online]

Available at: <https://dgel.energia.gob.mx/inel/CleanEnergies.html>

[Accessed 02 12 2021].

Silva, R. & Mendoza, E., 2017. *Manual de Diseño de Obras Civiles, Obras Marítimas Tomo I*, México: Comisión Federal de Electricidad.

- Silva, R., Villate, J. & Félix, A., 2017. *Una Visión Internacional para la Energía Oceanica*, México: CEMIE-Océano.
- Skilhagen, D. & Aaberg, R., 2008. Osmotic power-power production based on the osmotic pressure difference between waters with varying salt gradients.. *Desalination*, Volume 220, pp. 476-482.
- Skråmestø, Ø., Skilhagen, S. & Nielsen, E., 2009. *Power production based upon osmotic pressure*, Waterpower XVI, Spokane, WA, USA: s.n.
- Universidad Veracruzana , 2006. *Uniiversidad Veracruzana Gaceta*. [Online] [Accessed 20 Septiembre 2020].
- Vallejo, S., 2013. *Generación de Energía a partir del Gradiente Salino entre el agua de Río y de Mar utilizando una celdra de electrodiálisis Inversa*, Medellín Colombia: Universidad de Minas en Medellin Colombia.
- Veerman, J., 2010. *Reverse electro dialysis desing and optimization*. University of Groningen: s.n.
- WEC, 2015. *La red de líderes del sector energético que*, s.l.: s.n.
- WHO, 2007. Desalinización para el suministro. *Guia de los aspectos ambientales y de Salud Aplicables a la Desalinización..*
- Yan Wang, X. L. T. C. H. W. C. Z. H. Y. L. S. X. P. J. M. C. L. M. X., 2021. An underwater flag-like triboelectric nanogenerator for harvesting ocean current energy under extremely low velocity condition. *Nano Energy*, Volume 90.
- Ye, M., Pasta, M. & Xie, X., 2019. Charge-Free Mixing Entropy Battery Enabled by Low-Cost Electrode. *ACS Omega*, Abril.
- Zhao, S., Zou, L., Tang, C. & Mulcay, D., 2012. Recent development in forward osmosis: Opportunities bases on swelling and shrinking or hydrogels. *Enviromental Science & Technology*, Volume 48, pp. 157-163.
- Zhijun Jia, B. W. S. S. F., 2014. Renewable and Siustainable power generation from water salinity gradient. Volume 31, pp. 91-100.
- Zhu, X., Yang, W., Hatzell, M. & Logan, B., 2014. Energy Recovery from Solutions with Different Salinities Based on. *Environmental Science & Technology*, 1 Junio.pp. 7157-7163.